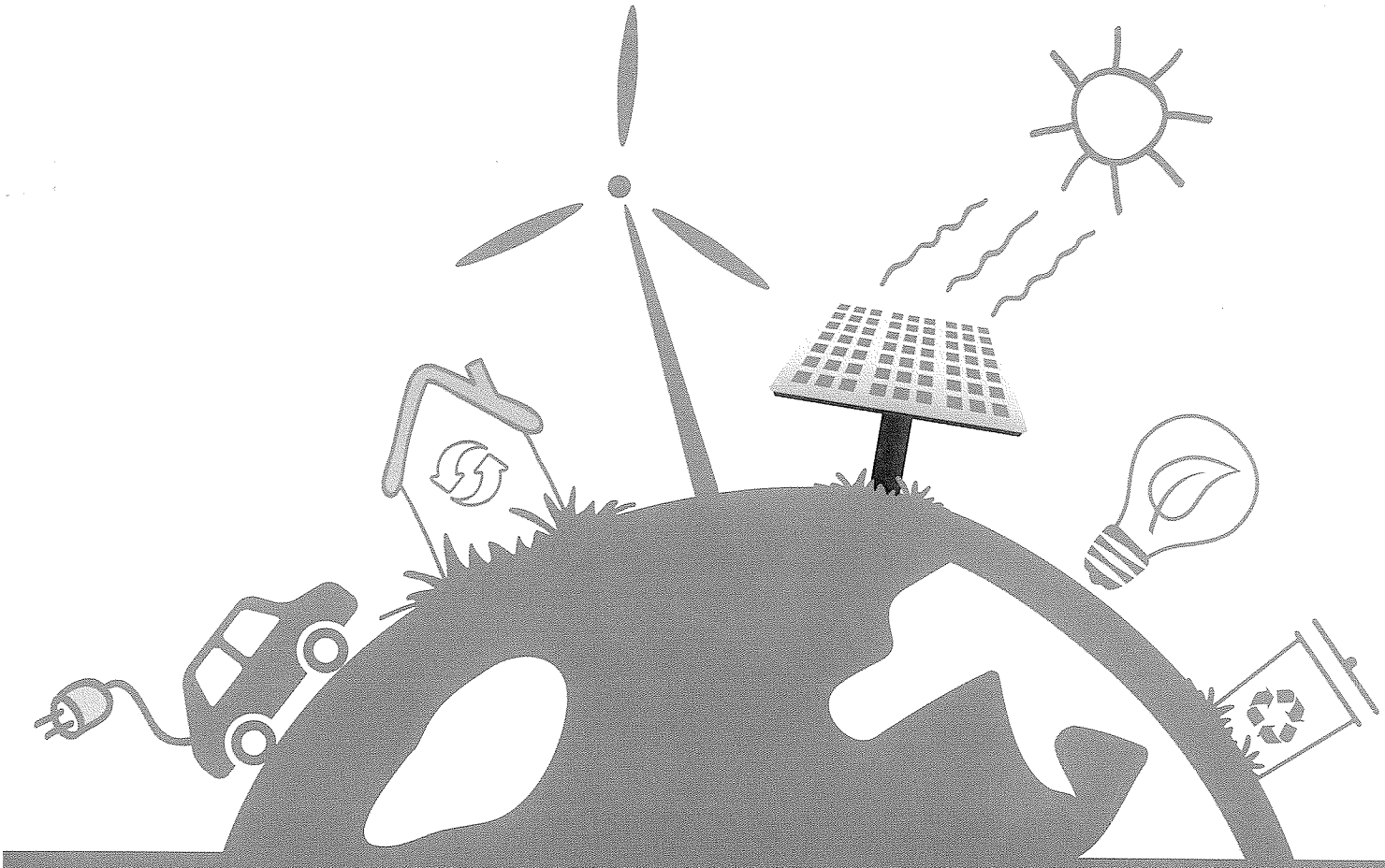


Administración de Operaciones

Procesos y cadena de suministro

Décima edición

Krajewski | Ritzman | Malhotra

ALWAYS LEARNING

PEARSON

Bizuayehu Tesfaye/AP Photos

1

USO DE LAS OPERACIONES PARA COMPETIR

La séptima novela de la serie de Harry Potter salió a la venta el 21 de julio de 2007 y al instante se convirtió en el libro más vendido en el mundo. Como dicha obra debía entregarse en un tiempo muy corto a los clientes, Scholastic coordinó su publicación y los procesos de distribución, en Estados Unidos, meses antes de la fecha de lanzamiento.

Scholastic y Harry Potter

En 1920 se fundó Scholastic y en la actualidad es el editor y distribuidor de libros para niños y materiales educativos más grande del mundo. Durante el año fiscal de 2011tuvo ingresos de 1900 millones y cuenta con oficinas en 16 países que incluyen a Estados Unidos, Europa, Sureste Asiático, América Latina, Medio Oriente, Australia, Nueva Zelanda y África. A principios de 2007 Scholastic inició con gran entusiasmo la planeación del esperado lanzamiento mundial del séptimo libro *Harry Potter y las reliquias de la muerte* de la aclamada serie de J. K. Rowling sobre el niño mago. Cuando la autora terminó el libro, en la primavera de 2007, los impresores de Scholastic, R. R. Donnelly & Sons y Quebecor World trabajaron sin descanso para asegurar que el libro estuviera listo en la fecha esperada. Para ahorrar tiempo de carga y descarga, la editorial eliminó el paso por sus propios almacenes y pidió a sus transportistas, Yellow Transportation y JB Hunt Transport Services, que usaran el mismo tamaño de trailers y tarimas para enviar los libros directamente de seis imprentas a los grandes distribuidores como Barnes & Noble y Amazon.com. Esta flotilla de camiones, formados defensa con defensa, se extendería a lo largo de 15 millas. Se usaron transmisores GPS para alertar a Scholastic por correo electrónico si un conductor o el camión se salía de la ruta asignada. Llegar a tiempo era importante, en particular para los distribuidores por Internet, que tenían que adelantar el envío de los libros para que las órdenes individuales llegaran al mismo tiempo en todo el país, con el fin de minimizar el riesgo de que alguien corriera la voz acerca del final del libro.

Puesto que 90% de las ventas de estos libros especiales ocurre la primera semana, reciben un tratamiento especial para ahorrar tiempo, dinero, espacio y trabajo. Scholastic debía personalizar, coordinar y sincronizar sus operaciones y los procesos de la cadena de suministro, a través de múltiples socios en los lugares de imprentas, almacenes, distribuidores y ventas para asegurar que el último libro de la serie de Harry Potter llegara al cliente final no más que unas cuantas horas antes de la fecha límite de entrega el 21 de julio a las 12:01 a.m. ¡No estuvo mal para un montón de *muggles* que transportaron 12 millones de libros en un tiempo corto sin polvos de *floo*, trasladores ni escobas voladoras!

Fuente: Dean Foust, "Harry Potter and the Logistical Nightmare", *Business Week* (6 de agosto, 2007), p. 9; Michelle Regenold, *Shipping Harry Potter: How Do They Do That?* **www.go-explore-trans.org/2007/mar-apr/shipping_HP.cfm; www.scholastic.com**, 2011.

METAS DE APRENDIZAJE *Después de estudiar este capítulo, usted será capaz de:*

1. Describir las operaciones y la cadena de suministro en términos de entradas, procesos, salidas, flujos de información y clientes.
2. Definir una estrategia de operaciones y su vínculo con la estrategia corporativa, al igual que el papel que desempeña como fuente de ventaja competitiva en el mercado global.
3. Identificar nueve prioridades competitivas en la estrategia de operaciones y su vínculo con la estrategia de marketing.
4. Explicar cómo pueden usarse las operaciones como arma competitiva.
5. Identificar las tendencias globales y los retos que enfrenta la administración de operaciones.

administración de operaciones
Diseño, dirección y control sistemático de procesos que transforman insumos o entradas en servicios y productos o salidas para los clientes, internos o externos.

proceso
Cualquier actividad o grupo de actividades que toma una o más entradas, las transforma y proporciona una o más salidas para sus clientes.

operación
Grupo de recursos que realizan todo o parte de uno o más procesos.

cadena de suministro
Serie interrelacionada de procesos dentro y a través de empresas que producen un servicio o producto para la satisfacción de los clientes.

administración de la cadena de suministro
Sincronización de los procesos de una empresa con los de sus proveedores y clientes para igualar el flujo de materiales, servicios e información con la demanda del cliente.

La **administración de operaciones** se refiere al diseño, dirección y control sistemático de los procesos que transforman insumos en servicios y productos para los clientes tanto internos como externos.

Este libro trata sobre la administración de esas actividades y procesos fundamentales que la organización utiliza para producir bienes y servicios que las personas usan todos los días. Un **proceso** es cualquier actividad o grupo de actividades que toma una o más entradas, las transforma y proporciona una o más salidas para sus clientes. Para los fines de la organización, los procesos tienden a agruparse en operaciones. Una **operación** es un grupo de recursos que realizan todo o parte de uno o más procesos. Los procesos pueden ligarse para formar una **cadena de suministro**, que es la serie interrelacionada de procesos dentro de una empresa y a través de diferentes empresas que produce un servicio o un producto para satisfacer a sus clientes.[1] Una empresa puede tener varias cadenas de suministro, según el producto o servicio proporcionado. La **administración de la cadena de suministro** es la sincronización de los procesos de una empresa con los de sus proveedores y clientes para igualar el flujo de materiales, servicios e información con la demanda del cliente. Por ejemplo, Scholastic debe programar la impresión de una cantidad muy grande de libros de manera oportuna, recibir órdenes de sus consumidores grandes, cargar y despachar directamente una flota de camiones a destinos específicos eliminando sus almacenes usuales, dar seguimiento al progreso usando tecnología y, por último, facturar y recolectar los pagos. La planeación operacional en Scholastic, junto con la coordinación interna y externa de su cadena de suministro proporciona un ejemplo de diseño de procesos personalizados para lograr operaciones competitivas.

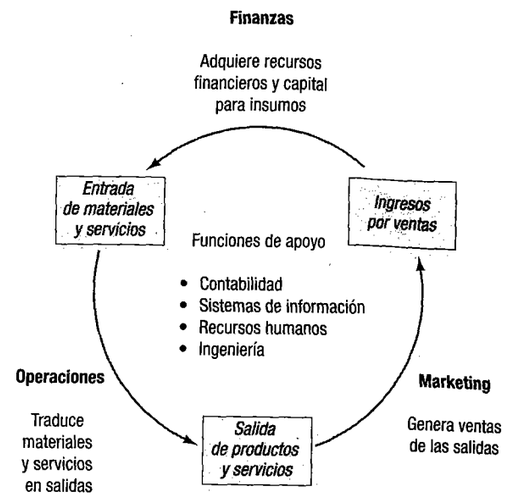
Administración de las operaciones y la cadena de suministro en toda la organización

En términos generales, la administración de operaciones y cadenas de suministro es la razón de todos los departamentos y funciones en un negocio. Sea que aspire a administrar un departamento o proceso dado dentro del mismo, o que solo desee comprender el papel que desempeña en toda la fábrica el proceso del cual forma parte, necesita entender los principios de la administración de operaciones y de cadena de suministro.

Las operaciones sirven como una excelente trayectoria hacia los puestos en la alta administración de muchas organizaciones. La razón es que los administradores de operaciones son responsables de tomar decisiones clave que afectan el éxito de la organización. En las empresas manufactureras, el jefe de operaciones suele tener el título de oficial de operaciones en jefe (COO, *chief operations officer*) o vicepresidente de manufactura (o de producción o de operaciones). El título correspondiente en una organización de servicio puede ser COO o vicepresidente (o director) de operaciones. Reportan al jefe de operaciones los administradores de departamentos como servicio al cliente, producción y control de inventario, al igual que aseguramiento de la calidad.

[1]Los términos *cadena de suministro* y *cadena de valor*, en algunas ocasiones, son intercambiables.

La figura 1.1 muestra las operaciones como una de las funciones clave dentro de una organización. Las relaciones circulares en la figura resaltan la importancia de la coordinación entre las tres funciones principales de cualquier negocio, a saber: **1.** operaciones, **2.** mercadotecnia y **3.** finanzas. Cada función es única y tiene sus propias áreas de conocimiento y habilidades, responsabilidades principales, procesos y ámbitos en la toma de decisiones. Desde una perspectiva exterior, finanzas genera recursos, capital y fondos de los inversionistas, así como las ventas de sus bienes y servicios en el mercado. De acuerdo con la estrategia de negocios, las funciones de finanzas y operaciones deciden cómo invertir estos recursos y convertirlos en bienes físicos y materiales de entrada. Después, las operaciones transforman estos insumos de materiales y servicios en productos y servicios de salida. Estas salidas deben tener las características que marketing puede vender en los mercados seleccionados. Marketing es responsable de producir ingresos sobre las ventas de las salidas, que se convierten en rendimientos para los inversionistas y capital para apoyar las operaciones. Las funciones como contabilidad, sistemas de información, recursos humanos e ingeniería completan a la empresa proporcionando información esencial, servicios y otros apoyos administrativos.



▲ **FIGURA 1.1**
Integración entre las diferentes áreas funcionales de un negocio

Estas relaciones proporcionan la dirección del negocio como un todo y están alineadas con el mismo propósito estratégico. Es importante comprender el círculo completo y no solo las áreas funcionales individuales. Qué tan bien trabajan juntas estas funciones determina la efectividad de la organización. Las funciones deben integrarse y buscar una estrategia común. El éxito depende de lo bien que puedan hacerlo. Ninguna parte del círculo puede ignorarse o minimizarse sin perder efectividad, y sin importar cómo se administran los departamentos y las funciones individuales, siempre estarán vinculados mediante los procesos. Así, una empresa compite no solo al ofrecer nuevos productos y servicios, mercadotecnia creativa y finanzas hábiles, también lo hace a través de sus competencias en las operaciones y de una administración sana de los procesos centrales.

Evolución histórica de la administración de las operaciones y la cadena de suministro

La historia de la administración moderna de las operaciones y la cadena de suministro es muy rica, y data de hace más de 200 años, aunque su práctica ha existido a lo largo de varios siglos. James Watt inventó la máquina de vapor en 1785. El establecimiento subsecuente de las vías de tren facilitó el movimiento eficiente de bienes en toda Europa y con el tiempo, incluso, en colonias distantes como India. Con la invención de la máquina de algodón en 1794, Eli Whitney introdujo el concepto de partes intercambiables. Esto revolucionó el arte de la manufactura basada en las máquinas y, junto con la invención de la máquina de vapor, llevó a la gran Revolución Industrial a Inglaterra y el resto de Europa. La industria textil fue una de las primeras industrias que se mecanizó. La Revolución Industrial se extendió gradualmente a Estados Unidos y el resto del mundo en el siglo XIX y estuvo acompañada de grandes inventos como el motor de combustión interna, los barcos movidos con vapor, la metalurgia del acero, la producción a gran escala de químicos y la invención de máquinas-herramienta, entre otras. Los cimientos de la manufactura moderna y los avances tecnológicos también se inspiraron en una computadora mecánica que creó Charles Babbage a principios del siglo XIX. Él también fue pionero del concepto de división del trabajo, que llevó a los fundamentos de la administración científica de las operaciones y la cadena de suministro que mejoró Frederick Taylor en 1911.

AFP/Newscom

Henry Ford con un Modelo T en Búfalo, Nueva York, en 1921. La Ford Motor Company, fundada en 1903, produjo alrededor de un millón de Modelos T en 1921.

Otros tres eventos destacados del siglo XX definen la historia de la administración de las operaciones y la cadena de suministro. El primero es la invención de la línea de ensamble para el automóvil Modelo T por Henry Ford, en 1909. Fue el nacimiento de la era de la producción, donde se podían fabricar grandes cantidades de productos complejos como los automóviles a precios accesibles, mediante la manufactura repetitiva. El segundo lo protagoniza Alfred Sloan, quien introdujo, en la década de 1930, la idea de planeación estratégica para lograr la proliferación y variedad de productos con la corporación General Motors, entonces recién fundada, que ofrecía "un auto para cada bolsillo y cada propósito". Por último, con la publicación del Sistema de Producción Toyota en 1978, Taiichi Ohno abrió el camino para eliminar las actividades que generan desperdicios en la organización, un concepto que exploraremos con más detalle en este libro al aprender sobre sistemas esbeltos.

La historia reciente de las operaciones y la cadena de suministro durante las últimas tres décadas está impregnada de avances tecnológicos. La década de los 80 se caracterizó por una amplia disponibilidad del diseño ayudado por computadora (CAD, *Computer Aided Design*), manufactura asistida por computadora (CAM, *computer aided manufacturing*) y automatización. Las aplicaciones de tecnología de la información comenzaron a tener un papel cada vez más importante en los 90 e iniciaron la conexión entre la empresa y su empresa extendida a través de los Sistemas de Planeación de Recursos y la tecnología externa contratada (*outsourced*) que manejaba soluciones para la cadena de suministro. Las organizaciones de servicio como Federal Express, United Parcel Service (UPS) y Walmart se convirtieron en usuarios avanzados de la tecnología de la información en operaciones, logística y administración de la cadena de suministro. El nuevo milenio ha visto una aceleración de esta tendencia, junto con un enfoque creciente en la sustentabilidad y el entorno natural. Cubriremos todas estas ideas con detalle en este libro.

Panorama de los procesos

Tal vez usted se pregunte por qué comenzamos por observar los procesos en lugar de los departamentos o incluso la empresa. La razón es que el panorama de un proceso da una perspectiva más relevante sobre la manera en que trabaja la empresa. Los departamentos suelen tener su propio conjunto de objetivos, un conjunto de recursos con capacidades para lograr esos objetivos y administradores y empleados responsables del desempeño. Algunos procesos, como la facturación, pueden ser tan específicos que están contenidos totalmente en un solo departamento, como el de contabilidad.

Sin embargo, el concepto de proceso puede ser mucho más amplio. Un proceso puede tener su propio conjunto de objetivos, involucrar un flujo de trabajo que va más allá de las fronteras departamentales y requerir recursos de varios departamentos. En todo el libro veremos ejemplos de compañías que descubrieron cómo usar sus procesos para obtener una ventaja competitiva. Observará que la clave para el éxito en muchas organizaciones está en una comprensión aguda de cómo trabajan sus procesos, ya que la efectividad de una organización solo es tan buena como la efectividad de sus procesos. Por lo tanto, la administración de operaciones es relevante e importante para todos los estudiantes, sin importar su área de especialización, porque todos los departamentos tienen procesos que deben administrarse de manera efectiva para tener una ventaja competitiva.

Cómo trabajan los procesos

La figura 1.2 muestra cómo trabajan los procesos. Cualquier proceso tiene entradas y salidas. Las entradas pueden incluir una combinación de recursos humanos (trabajadores y administradores), capital (equipo e instalaciones), materiales y servicios comprados, terreno y energía. Los círculos numerados en la figura 1.2 representan las operaciones por las que pasan los servicios, productos o clientes y donde se realizan los procesos. Las flechas representan flujos y se pueden cruzar porque un trabajo o cliente puede tener diferentes requerimientos (y con ello un patrón de flujo diferente) de los del siguiente trabajo o cliente.

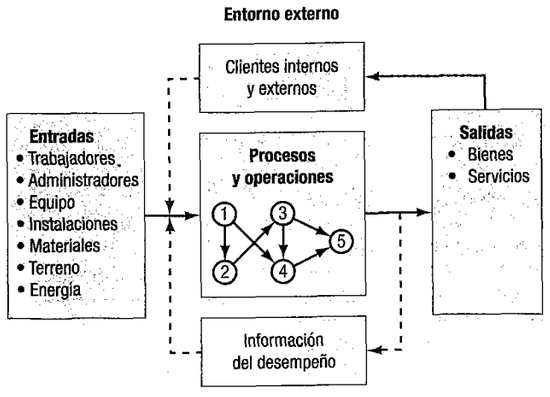
clientes externos
Un cliente es un usuario final o un intermediario (por ejemplo, fabricantes, instituciones financieras o tiendas) que compran los bienes o servicios terminados a la empresa.

clientes internos
Uno o más empleados o procesos que dependen de entradas proporcionadas por otros empleados o procesos para realizar su trabajo.

proveedores externos
Negocios o individuos que proporcionan recursos, servicios, productos y materiales según las necesidades a corto y largo plazo de la empresa.

proveedores internos
Empleados o procesos que proporcionan información o materiales importantes para los procesos de alta empresa.

▼ **FIGURA 1.2**
Procesos y operaciones



Los procesos proporcionan salidas para los clientes. Con frecuencia estas salidas pueden ser servicios (que pueden tomar la forma de información) o productos tangibles. Cada proceso y cada persona en una organización tienen clientes. Algunos son **clientes externos**, que pueden ser usuarios finales o intermediarios (por ejemplo, fabricantes, instituciones financieras o tiendas) que compran los bienes o servicios terminados a la empresa. Otros son **clientes internos**, que pueden ser empleados en una empresa cuyas entradas a los procesos son de hecho las salidas de procesos anteriores que se manejan en la empresa. De cualquier forma, los procesos deben administrarse con los clientes en mente.

De manera similar, cada proceso y cada persona en una organización dependen de proveedores. Los **proveedores externos** pueden ser otros negocios o individuos que proporcionan recursos, servicios, productos y materiales para satisfacer las necesidades a corto y largo plazo de la empresa. Los procesos también tienen **proveedores internos**, que pueden ser empleados o procesos que proporcionan información o materiales importantes.

Las entradas y salidas varían, dependiendo del servicio o producto relacionado. Por ejemplo, las entradas en una joyería incluyen mercancía, el edificio de la tienda, cajas, joyas y clientes; las salidas a los clientes externos son servicios y mercancía vendida. Las entradas a una fábrica de pantalones de mezclilla incluyen mezclilla, la planta, trabajadores administrativos y los servicios proporcionados por consultores externos; las salidas son ropa y servicios de apoyo. El papel fundamental de las entradas, los procesos y las salidas para los clientes sigue siendo el mismo para todos los procesos de todas las organizaciones.

La figura 1.2 representa una empresa completa, un departamento, un pequeño grupo o, incluso, un solo individuo. Cada uno tiene entradas y utiliza procesos en diferentes operaciones para proporcionar salidas. Las líneas punteadas representan dos tipos especiales de entrada: participación de los clientes e información sobre el desempeño de fuentes tanto internas como externas. La participación de los clientes ocurre no solo cuando reciben salidas, sino también cuando toman parte activa en los procesos, como cuando los estudiantes participan en una discusión en clase. La información del desempeño incluye reportes internos del servicio al cliente o niveles de inventario e información externa de la investigación de mercados, informes del gobierno o llamadas telefónicas de los proveedores. Los administradores necesitan todo tipo de información para manejar los procesos de la manera más efectiva.

Procesos anidados

Los procesos pueden desglosarse en subprocesos, que a su vez se pueden descomponerse aún más en subprocesos. Nos referimos a este concepto de un proceso dentro de otro proceso como **procesos anidados**. Puede ser útil separar una parte de un proceso de otra por varias razones. Una persona o un departamento tal vez no puede realizar todas las partes de un proceso o, quizá, diferentes partes del proceso requieren habilidades distintas. Algunas partes del procedimiento pueden estar diseñadas para trabajo rutinario, mientras que otras pueden estar orientadas al trabajo personalizado. El concepto de procesos anidados se ilustra con más detalle en el capítulo 4, "Análisis de procesos", donde se refuerza la necesidad de comprender y mejorar las actividades dentro de un negocio, así como las entradas y salidas de cada proceso.

procesos anidados
Concepto de un proceso dentro de un proceso.

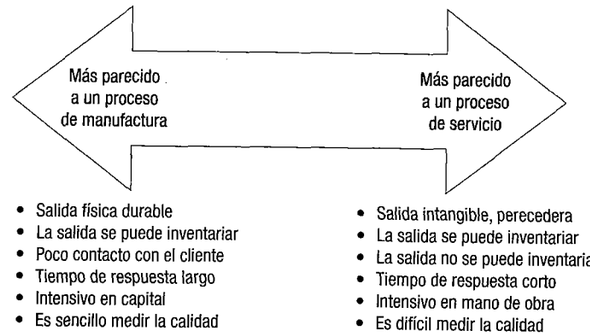
Procesos de servicio y manufactura

Dos tipos importantes de procesos son: **1.** servicio y **2.** manufactura. Los procesos de servicio prevalecen en el mundo de los negocios y tienen un lugar prominente en nuestro estudio de la administración de operaciones. Los procesos de manufactura también son importantes; sin ellos no existirían los productos que disfrutamos como parte de nuestra vida diaria. Además, la manufactura genera las oportunidades de servicio.

Diferencias ¿Por qué hacemos la distinción entre procesos de manufactura y de servicio? La respuesta está en el corazón del diseño de los procesos competitivos. Mientras que la figura 1.3 muestra varias distinciones entre los procesos de manufactura y de servicio en un continuo, las dos diferencias importantes que estudiaremos con detalle son: **1.** la naturaleza de su salida y **2.** el grado de contacto con el cliente. En general, los procesos de manufactura también tienen tiempos de respuesta más largos, son más intensivos en capital y es más fácil medir su calidad que en el caso de los procesos de servicio.

Los procesos de manufactura convierten materiales en bienes que tienen una forma física que llamamos productos. Por ejemplo, una línea de ensamble produce 350 automóviles deportivos Z y un sastre confecciona un modelo de ropa para los anaqueles de una tienda elegante. Los procesos de transformación cambian los materiales en una o más de las siguientes dimensiones:

1. Propiedades físicas
2. Forma
3. Tamaño (como largo, ancho y alto de un bloque rectangular)
4. Acabado de la superficie
5. Unión de partes y materiales



▲ **FIGURA 1.3**
El continuo en las características de procesos de manufactura y servicio

Las salidas del proceso de manufactura se pueden fabricar, almacenar y transportar, previniendo la demanda.

Si un proceso no cambia las propiedades de los materiales, en al menos una de estas cinco dimensiones, se considera un proceso de servicio (o que no se puede manufacturar). Los procesos de servicio tienden a producir salidas intangibles y perecederas. Por ejemplo, la salida de un proceso de préstamos sobre un automóvil en un banco sería el préstamo y una salida del proceso de satisfacción de una orden del servicio postal es la entrega de la carta. Las salidas de los procesos de servicio casi nunca se pueden mantener en un inventario de bienes terminados para defender al proceso de demandas erráticas de los clientes.

Una segunda diferencia importante entre los procesos de manufactura y los de servicio es el grado de contacto con el cliente. Los procesos de servicio tienden a tener un alto grado de contacto con el mismo. Los clientes pueden tener un papel activo en el procedimiento mismo, como en el caso de la compra en un supermercado, o bien, pueden estar en contacto cercano con el proveedor del servicio para comunicar necesidades específicas, como puede ser en una clínica médica. Los procesos de manufactura tienden a tener menos contacto con el cliente. Por ejemplo, las lavadoras de ropa se producen para cumplir con los pronósticos de ventas. El proceso requiere poca información del consumidor final (usted y yo), excepto mediante las encuestas de mercado y los grupos de enfoque. Aun cuando la distinción entre los procesos de servicio y manufactura, según el contacto con el cliente no es perfecta, el punto importante es que los administradores deben reconocer el grado de contacto requerido al diseñar el proceso.

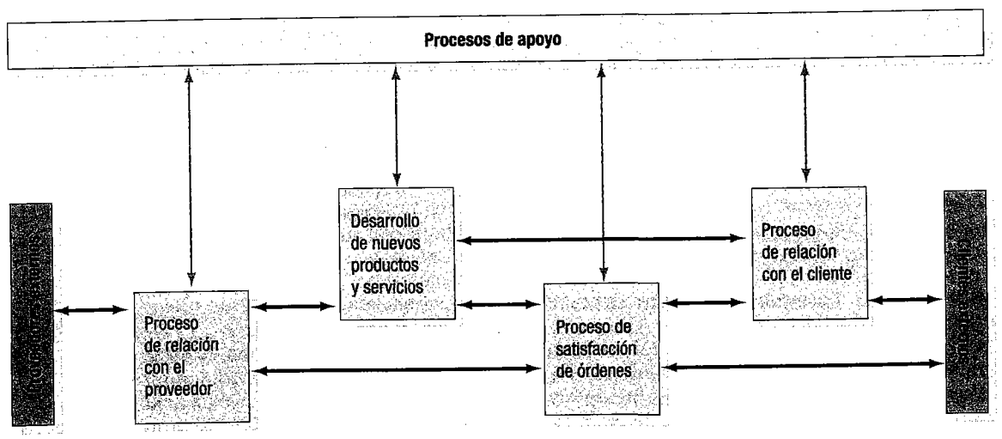
Similitudes A nivel de empresa, los proveedores de servicio no solo ofrecen servicios y los fabricantes, productos. Los comensales en un restaurante esperan un buen servicio y comida suculenta. Un cliente que compra una computadora espera un producto excelente, al igual que una buena garantía, mantenimiento, remplazo y servicios financieros.

Todavía más, aunque los procesos de servicio no mantienen inventarios de productos terminados, sí tienen en inventario sus entradas (o insumos). Por ejemplo, los hospitales tienen inventarios de suministros y materiales médicos necesarios para la operación diaria. Algunos procesos de manufactura, por otro lado, no mantienen en inventario sus salidas porque son muy costosas. Éste sería el caso de productos personalizados de bajo volumen (como trajes hechos a la medida) o productos con una vida en anaquel muy corta (por ejemplo, el periódico).

Cuando se observa lo que se hace a nivel de proceso, es mucho más sencillo ver si el *proceso* proporciona un servicio o fabrica un producto. Sin embargo, esta claridad se pierde cuando toda la compañía está clasificada como fabricante o proveedor de servicios porque a menudo realiza ambos tipos de procesos. Por ejemplo, el proceso de cocinar una hamburguesa en McDonald's es de manufactura porque cambia las propiedades físicas del material (dimensión 1), también lo es el proceso de armar la hamburguesa con el pan (dimensión 5). No obstante, muchos otros procesos, visibles o invisibles para los clientes de McDonald's, son de servicio. Se puede llegar a un debate acerca de si McDonald's es un proveedor de servicios o un fabricante, pero las clasificaciones a nivel proceso son mucho menos ambiguas.

Panorama de la cadena de suministro

La mayor parte de los productos o servicios se producen mediante una serie interrelacionada de actividades de negocios. Cada actividad en un proceso debe agregar valor a las actividades anteriores; el desperdicio y los costos innecesarios deben eliminarse. Nuestra perspectiva del proceso es útil para comprender cómo se producen los servicios o los productos y por qué es importante la coordinación cruzada entre funciones, pero no ilustra los beneficios estratégicos de los procesos. La visión estratégica que falta es que los procesos deben agregar valor para los clientes en toda la cadena de suministro. El concepto de cadenas de suministro refuerza el vínculo entre los procesos y el desempeño, que incluye los procesos internos de una empresa al igual que los de sus clientes y proveedores externos. También fija la atención en los dos tipos principales de procesos en la cadena de suministro, a saber: **1.** procesos centrales y **2.** procesos de apoyo. La figura 1.4 muestra la relación entre los procesos centrales y de apoyo en una empresa y sus clientes y proveedores externos dentro de su cadena de suministro.



▲ **FIGURA 1.4**
Vínculos de la cadena de suministro que muestra flujos de trabajo e información

Procesos centrales

Un **proceso central** es un conjunto de actividades que proporciona valor a los clientes externos. Los administradores de estos procesos y sus empleados interactúan con los clientes externos y construyen relaciones con ellos, desarrollan nuevos servicios y productos, interactúan con los proveedores externos y producen el servicio o producto para los clientes externos. Los ejemplos incluyen el manejo de reservaciones de un hotel, el diseño de un nuevo automóvil para un fabricante de automóviles o compras por Internet para un vendedor como amazon.com. Por supuesto, cada uno de los procesos centrales tiene procesos anidados dentro de él.

En este libro nos enfocamos en cuatro procesos centrales:

1. *Proceso de relación con proveedores.* Los empleados en el **proceso de relación con proveedores** seleccionan los servicios, materiales e información de los proveedores y facilitan el flujo oportuno y eficiente de estos aspectos a la empresa. Trabajar con efectividad con los proveedores puede agregar un valor significativo a los servicios o productos de la empresa. Por ejemplo, negociar precios justos, programar las entregas a tiempo y obtener ideas y perspectivas de los proveedores críticos son solo unas cuantas maneras de crear valor.
2. *Desarrollo de nuevos servicios y productos.* Los empleados en el **proceso de desarrollo de nuevos productos y servicios** diseñan y desarrollan nuevos servicios o productos. Éstos pueden desarrollarse según las especificaciones de clientes externos o concebirse a partir de las entradas recibidas del mercado en general.
3. *Proceso de satisfacción de órdenes.* El **proceso de satisfacción de órdenes** incluye las actividades requeridas para producir y entregar el servicio o producto al cliente externo.
4. *Proceso de relación con el cliente.* Algunas veces se conoce como *administración de la relación con el cliente.* Los empleados involucrados en el **proceso de relación con el cliente** identifican, atraen y construyen la relación con los clientes externos y facilitan la colocación de sus órdenes. Las funciones tradicionales, como marketing y ventas, pueden ser parte de este proceso.

proceso central
Conjunto de actividades que proporciona valor a los clientes externos.

proceso de relación con el proveedor
Proceso que selecciona los proveedores de servicios, materiales e información y facilita el flujo oportuno y eficiente de estos aspectos en la empresa.

proceso de desarrollo de nuevos productos y servicios
Proceso que diseña y desarrolla nuevos productos o servicios a partir de las entradas recibidas de especificaciones de clientes externos o del mercado en general a través del proceso de relación con el cliente.

proceso de satisfacción de órdenes
Proceso que incluye las actividades requeridas para producir y entregar un servicio o producto al cliente externo.

proceso de relación con el cliente
Proceso que identifica, atrae y construye relaciones con los clientes externos y facilita a los clientes la colocación de órdenes, algunas veces llamado *administración de la relación con el cliente.*

Procesos de apoyo

Un **proceso de apoyo** proporciona recursos y entradas vitales para los procesos centrales y es esencial para administrar los negocios. Las empresas tienen muchos procesos de apoyo. Los ejemplos incluyen presupuestos, reclutamiento y programación. Los procesos de apoyo proporcionan recursos clave, capacidades u otras entradas que permiten que los procesos centrales funcionen.

La función de recursos humanos en una organización proporciona muchos procesos de apoyo, como reclutar y contratar trabajadores que se necesitan en los diferentes niveles de la organización, capacitar a los trabajadores en habilidades y conocimientos necesarios para ejecutar adecuadamente las responsabilidades asignadas y establecer incentivos y planes de compensación que remuneren a los empleados por su desempeño. El departamento legal realiza procesos de apoyo para asegurar que la empresa cumple con las reglas y regulaciones bajo las cuales opera el negocio. Los procesos de apoyo de la función de contabilidad dan seguimiento a la manera en que los recursos financieros de la empresa se crean y asignan en el tiempo, mientras que la función de sistemas de información es responsable del movimiento y procesamiento de datos y de la información necesaria para tomar decisiones de negocios. Los procesos de apoyo de las diferentes áreas funcionales como contabilidad, ingeniería, recursos humanos y sistemas de información son, entonces, vitales para la ejecución de los procesos centrales que se resaltan en la figura 1.4.

proceso de apoyo
Proceso que proporciona recursos vitales y entradas a los procesos centrales y, por lo tanto, es esencial en la administración de un negocio.

Estrategia de operaciones

La **estrategia de operaciones** especifica los medios por los cuales las operaciones ponen en marcha la estrategia corporativa y ayuda a construir una empresa orientada al cliente. Vincula las decisiones a corto y largo plazo de las operaciones con la estrategia competitiva y desarrolla las capacidades que la empresa necesita para ser competitiva. Se encuentra en el núcleo de la administración de procesos y de la cadena de suministro. Los procesos internos de una empresa son solo bloques de construcción: es necesario organizarlos para llegar a ser efectivo en un entorno competitivo. La estrategia de operaciones es el eje que une estos procesos para formar las cadenas de suministro que se extiende más allá de las paredes de la empresa, englobando a proveedores y clientes. Como los clientes desean un cambio constante, la estrategia de operaciones de la empresa debe orientarse a las necesidades de sus clientes.

Desarrollar una estrategia de operaciones orientada al cliente comienza con la *estrategia corporativa* que, como se muestra en la figura 1.5, coordina las metas globales de la empresa con sus procesos centrales. Determina los mercados a los que la empresa servirá y las respuestas que deberá tener ante los cambios en el entorno. Proporciona los recursos para desarrollar las competencias centrales de la empresa y los procesos centrales, además identifica la estrategia que empleará en los mercados internacionales. Con base en la estrategia corporativa, un *análisis de mercado* categoriza a los clientes de la empresa, identifica sus necesidades y evalúa las fortalezas de los competidores. Esta información se usa para desarrollar las *prioridades competitivas.* Estas prio-

estrategia de operaciones
Los medios por los cuales las operaciones implementan la estrategia corporativa de la empresa y ayudan a construir una empresa orientada al cliente.

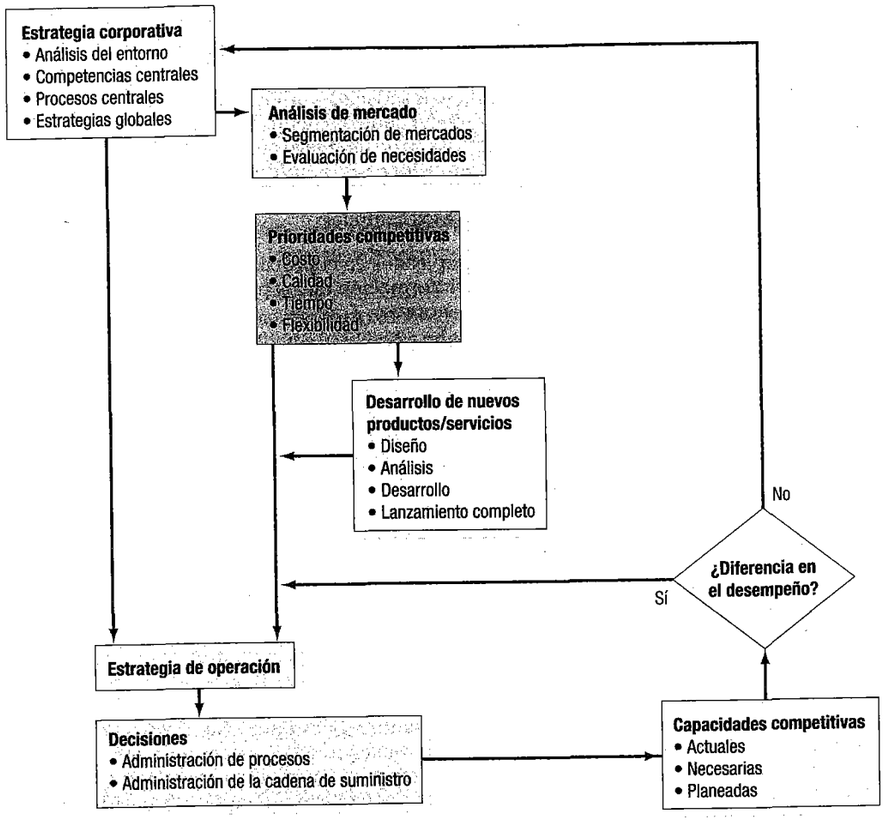


FIGURA 1.5
Conexión entre la estrategia corporativa y las decisiones administrativas de operaciones clave

ridades ayudan a los administradores a desarrollar los productos o servicios necesarios para ser competitivo en el mercado. Las prioridades competitivas son importantes para el diseño de servicios o productos —tanto existentes como nuevos—, los procesos que los entregarán y la estrategia de operaciones que desarrollará las capacidades de la empresa para cumplirlas. El desarrollo de la estrategia de operaciones es un proceso continuo, porque para que las capacidades de la empresa cumplan con las prioridades competitivas, deben revisarse periódicamente, y cualquier diferencia en el desempeño debe abordarse en la estrategia de operaciones.

Estrategia corporativa

La estrategia corporativa proporciona una dirección global que sirve de marco de referencia para llevar a cabo todas las funciones de la organización. Especifica el negocio o los negocios que la compañía buscará, aísla las nuevas oportunidades y amenazas del entorno e identifica los objetivos de crecimiento.

El desarrollo de una estrategia corporativa incluye cuatro consideraciones: **1.** supervisar y ajustarse a cambios en el entorno de negocios, **2.** identificar y desarrollar las competencias centrales de la empresa, **3.** desarrollar los procesos centrales de la empresa y **4.** desarrollar las estrategias globales de la empresa.

Análisis del entorno El entorno externo de negocios en el cual la empresa compite cambia de manera continua, y una organización debe adaptarse a los cambios. La adaptación comienza con el *análisis del entorno*, el proceso por el cual los administradores supervisan las tendencias en el entorno (por ejemplo, la industria, el mercado y la sociedad) en busca de oportunidades potenciales o amenazas. Una razón crucial para analizar el entorno es adelantarse a la competencia. Los competidores pueden estar obteniendo una ventaja al ampliar sus líneas de servicios o productos, mejorando la calidad o bajando sus precios. Nuevas ofertas en el mercado o competidores que ofrecen sustitutos para el servicio o producto de la empresa pueden amenazar los ingresos continuos. Otras preocupaciones importantes acerca del entorno incluyen las tendencias económicas, los cambios tecnológicos, las condiciones políticas, los cambios sociales (como las actitudes hacia el trabajo) y la disponibilidad de recursos vitales. Por ejemplo, un fabricante de automóviles reconoce que, debido a la disminución en las reservas de petróleo, con el tiempo requerirá combustibles alternativos para sus vehículos. En consecuencia, se han diseñado prototipos de automóviles que usan hidrógeno o energía eléctrica como combustible alternativo a la gasolina.

Desarrollo de competencias centrales Una buena habilidad administrativa por sí sola no puede vencer los cambios del entorno. Las empresas tienen éxito al adquirir una ventaja en lo que hacen particularmente bien, es decir, las fortalezas únicas de la organización. Las **competencias centrales** son los únicos recursos y las fortalezas privativas que la administración de una organización considera al formular su estrategia. Reflejan el aprendizaje colectivo de la empresa, en especial cómo coordinar procesos e integrar tecnologías. Estas competencias son las siguientes:

competencias centrales
Los recursos únicos y las fortalezas que la administración de una organización considera al formular su estrategia.

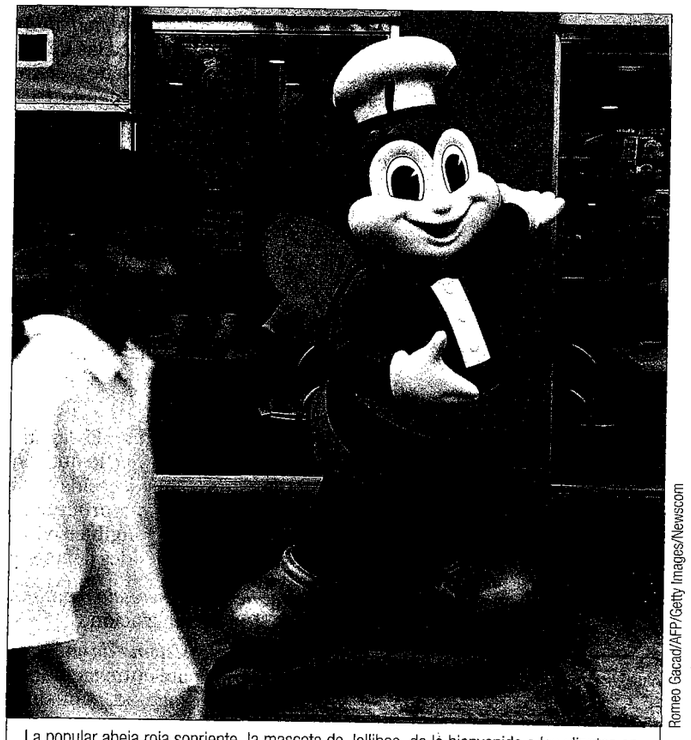
1. *Fuerza de trabajo.* Una fuerza de trabajo bien capacitada y flexible permite a las organizaciones responder en forma oportuna a las necesidades del mercado. Esta competencia es particularmente importante en las organizaciones de servicios, donde los clientes entran en contacto directo con los empleados.
2. *Instalaciones.* Tener instalaciones bien ubicadas (oficinas, tiendas y plantas) es una ventaja importante debido a los largos **tiempos de entrega** necesarios para construir nuevas instalaciones. Además, las instalaciones flexibles que pueden manejar una variedad de productos o servicios a distintos niveles de volumen proporcionan una ventaja competitiva.
3. *Saber hacer (Know-How) financiero y de mercado.* Una organización que puede con facilidad atraer capital de la venta de acciones, comercializar y distribuir sus servicios o productos, o diferenciarlos de servicios o productos similares en el mercado, tiene una ventaja competitiva.
4. *Sistemas y tecnología.* Las organizaciones con experiencia en sistemas de información tienen una ventaja competitiva en las industrias con manejo intensivo de datos, como la banca. Es en particular ventajosa la experiencia en tecnologías de Internet y aplicaciones como sistemas de "negocio a consumidor" y de "negocio a negocio". Tener las patentes de una nueva tecnología también es una gran ventaja.

tiempo de entrega
El tiempo que transcurre entre la recepción de la orden de un cliente y su entrega.

Desarrollo de procesos centrales Las competencias centrales de una empresa deben impulsar sus procesos centrales: relaciones con el cliente, desarrollo de nuevos productos y servicios, satisfacción de órdenes y relaciones con proveedores. Muchas compañías tienen los cuatros procesos, mientras que otras se enfocan en un subconjunto de ellos para alcanzar mejor sus competencias centrales, ya que encuentran difícil ser buenos en los cuatro procesos y a la vez ser competitivos. Por ejemplo, en el negocio de tarjetas de crédito dentro de la banca, algunas compañías se especializan en encontrar clientes y mantener la relación con ellos. El programa de tarjetas de crédito de American Airlines busca y logra una afinidad especial con sus clientes a través de la base de datos de marketing. Por otro lado, las compañías especializadas en tarjetas de crédito, como CapitalOne, se enfocan en la innovación del servicio creando nuevas características y programas de precios. Por último, muchas compañías se están haciendo cargo del proceso de satisfacción de órdenes administrando el procesamiento de las transacciones de tarjetas de crédito y centros de atención telefónica. El punto importante es que cada empresa debe evaluar sus competencias centrales y elegir su enfoque en esos procesos que le proporcionan la mayor ventaja competitiva.

Estrategias globales Identificar oportunidades y amenazas hoy en día requiere una perspectiva global. Una estrategia global puede incluir comprar servicios o partes foráneas o planear formas de entrar a mercados más allá de las fronteras nacionales. Aunque es necesario protegerse de las amenazas de los competidores globales, las empresas deben buscar activamente penetrar en los mercados extranjeros. Dos estrategias globales efectivas son: **1.** alianzas estratégicas y **2.** tener instalaciones en el extranjero.

Una manera para que una empresa abra mercados extranjeros es crear una *alianza estratégica*. Se trata de un acuerdo con otra empresa que puede tomar una de tres formas. Una forma de la alianza estratégica es el *esfuerzo de colaboración*, que con frecuencia surge cuando una empresa tiene competencias centrales que otra necesita, pero no está dispuesta a (o no puede) duplicar. Estos arreglos suelen surgir de las relaciones comprador-proveedor.



La popular abeja roja sonriente, la mascota de Jollibee, da la bienvenida a los clientes en un local en Manila. Jollibee comenzó como dos heladerías en Manila en 1975, y ha crecido hasta ser la compañía de comida rápida más grande de Filipinas; emplea a más de 26,000 personas en más de 1000 establecimientos en siete países. Preparando comida según el gusto y las preferencia locales, Jollibee ganó 65% de un mercado ferozmente competitivo de la comida rápida en Filipinas, colocando al gigante mundial McDonald's en el segundo lugar.

Romeo Gacad/AFP/Getty Images/Newscom

Otra forma de alianza estratégica es la *empresa conjunta* (*joint venture*), en la que dos empresas acuerdan producir un bien o un servicio en forma conjunta. Este enfoque es usado a menudo por las empresas para tener acceso a mercados extranjeros. Por ejemplo, para acceder al gran mercado chino, General Motors (GM) y Volkswagen (VW) desarrollaron cada cual empresas conjuntas con Shanghai Automotive Industry Corporation (SAIC).[2] Este socio chino es un gran productor de automóviles, produce más de 600,000 con GM y VW. En 2010, SAIC subió sus porcentajes totales a 51% en Shanghai GM, que ahora está entre los tres mayores productores de vehículos de pasajeros en China. Por último, la *licencia tecnológica* es una forma de alianza estratégica en la que una compañía proporciona la licencia de sus métodos de servicios o producción para obtener acceso a mercados extranjeros.

Otra manera de entrar a los mercados es localizar las operaciones en otro país. Sin embargo, los administradores deben reconocer que lo que funciona bien en su país podría no funcionar en otro. El entorno económico y político o las necesidades de los clientes pueden ser significativamente diferentes. Por ejemplo, la empresa familiar propietaria de la cadena de comida rápida Jollibee Foods Corporation se ha convertido en la compañía dominante en Filipinas, cocinando según las preferencias locales de sabores dulces y picantes, lo que incluye pollo frito, espagueti y hamburguesas. La fortaleza de Jollibee son sus creativos programas de marketing y la comprensión del gusto local; ellos aseguran que sus hamburguesas son como las que un filipino promedio prepararía en su casa. McDonald's respondió introduciendo su propio estilo filipino de hamburguesa picante, pero la competencia es dura. Este ejemplo muestra que, para tener éxito, las estrategias corporativas deben reconocer las costumbres, preferencias y condiciones económicas de otros países.

Ubicarse en el extranjero es una decisión clave en el diseño de las cadenas de suministro porque afecta el flujo de materiales, información y empleados en apoyo a los procesos centrales de la empresa. El capítulo 10, "Diseño de la cadena de suministro" y el capítulo 11 "Decisiones de localización de la cadena de suministro" ofrecen un estudio más profundo de estas y otras implicaciones.

Análisis de mercado

Un aspecto importante para formular con éxito una estrategia de operaciones orientada al cliente, tanto para servicios como para manufactura, es comprender lo que el cliente quiere y cómo proporcionárselo. Un *análisis de mercado* primero divide a los clientes de la empresa en segmentos de mercado y luego identifica las necesidades de cada segmento. En esta sección examinamos el proceso del análisis del mercado y definimos y estudiamos los conceptos de segmentación de mercados y evaluación de necesidades.

Segmentación de mercados La *segmentación de mercados* es el proceso de identificar grupos de clientes con suficientes cosas en común para garantizar el diseño y la provisión de los servicios o productos que el grupo desea y necesita. Para identificar los segmentos del mercado, el analista debe determinar las características que diferencian claramente cada segmento. Entonces, la compañía puede desarrollar un programa de mercado lógico y una estrategia de operación efectiva para apoyarlo. Por ejemplo, The Gap, Inc., un importante productor de ropa casual, se dirige a adolescentes y adultos jóvenes, mientras que los padres o tutores de niños, de 12 años o menos, son la meta principal de las tiendas GapKids. En un momento dado, los administradores pensaron en los clientes como una masa de mercado homogénea, pero ahora se dan cuenta de que dos clientes pueden usar el mismo producto por razones diferentes. Identificar los factores clave en cada segmento de mercado es el punto de partida para el diseño de una estrategia de operaciones orientada al cliente.

Evaluación de necesidades El segundo paso en el análisis de mercado es hacer una *evaluación de necesidades*, que identifica lo que requiere cada segmento y evalúa qué tan bien están abordando los competidores esas necesidades. Las necesidades de cada segmento del mercado se pueden relacionar con el servicio o producto y su cadena de suministro. Las necesidades de mercado deben incluir atributos tangibles e intangibles y características de productos y servicios que el cliente desea. Las necesidades del mercado se pueden agrupar como sigue:

- *Necesidades de un servicio o producto.* Atributos del servicio o producto, como precio, calidad y grado de personalización.
- *Necesidades del sistema de entrega.* Atributos de los procesos y sistemas de apoyo, y los recursos necesarios para entregar el servicio o producto, como disponibilidad, conveniencia, cortesía, seguridad, exactitud, confiabilidad, velocidad de entrega y formalidad en la entrega.
- *Necesidades de volumen.* Atributos de demanda del servicio o producto, como un volumen alto o bajo, grado de variabilidad en volumen y grado de predicción del volumen.
- *Otras necesidades.* Otros atributos, como reputación y número de años en el negocio, apoyo técnico después de la venta, habilidad para invertir en mercados financieros internacionales y servicios legales competentes.

[2]Alex Taylor, "Shanghai Auto Wants to Be the World's Next Great Car Company", *Fortune* (4 de octubre, 2004), pp. 103-110.

Una vez realizada esta evaluación, la empresa puede incorporar las necesidades de los clientes al diseño del servicio o producto y a la cadena de suministro que debe entregarlo. Estos aspectos relacionados con el desarrollo de nuevos servicios y productos se analizan con más detalle en el capítulo 12, "Integración de la cadena de suministro".

Prioridades y capacidades competitivas

Una estrategia de operaciones orientada al cliente requiere un esfuerzo funcional cruzado de todas las áreas de la empresa para comprender las necesidades de los clientes externos y especificar las capacidades de operación que requiere para lograr un mejor desempeño que los competidores. Esta estrategia también se refiere a las necesidades de los clientes internos, porque el desempeño global de la empresa depende de sus procesos centrales y de apoyo, que deben coordinarse para proporcionar el resultado global deseado por el cliente externo.

Las **prioridades competitivas** son las dimensiones operacionales críticas que deben poseer un proceso o una cadena de suministro para satisfacer a los clientes internos o externos, tanto en el presente como en el futuro. Se prevén las prioridades competitivas para los diferentes procesos, en tanto que la cadena de suministro se crea a partir de ellos. Deben estar presentes para mantener o lograr un porcentaje del mercado o permitir que otros procesos internos tengan éxito. No todas las prioridades competitivas son críticas para un proceso determinado; la administración selecciona las más importantes. Las **capacidades competitivas** son las dimensiones de costo, calidad, tiempo y flexibilidad que en realidad posee un proceso o una cadena de suministro y que es capaz de proporcionar. Cuando la capacidad se queda corta respecto a la prioridad asignada, la administración encuentra la manera de reducir la diferencia o revisa la prioridad.

prioridades competitivas
Son las dimensiones críticas que deben tener un proceso o una cadena de suministro para satisfacer a sus clientes internos o externos, ahora y en el futuro.

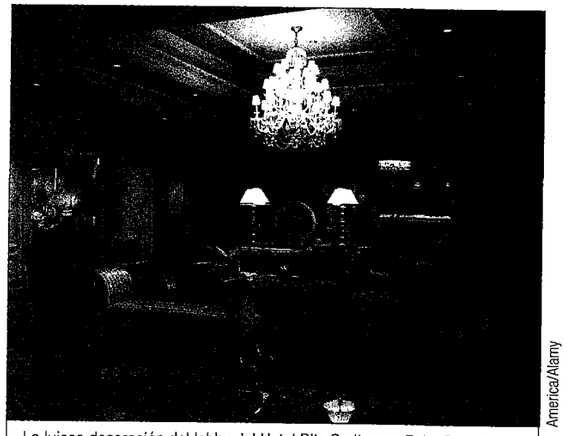
capacidades competitivas
Son las dimensiones de costo, calidad, tiempo y flexibilidad que, en efecto, posee un proceso o una cadena de suministro y que puede proporcionar.

Nos enfocamos en nueve prioridades competitivas amplias que entran en los cuatro grupos de *capacidades de costo, calidad,* tiempo y flexibilidad. La tabla 1.1 proporciona definiciones y ejemplos de estas prioridades competitivas, al igual que la manera en que las empresas las alcanzan a nivel de proceso.

En ocasiones, la administración puede resaltar un grupo de prioridades competitivas juntas. Por ejemplo, muchas compañías se centran en las prioridades competitivas de velocidad de entrega y velocidad de desarrollo para sus procesos, lo cual es una estrategia llamada **competencia basada en el tiempo**. Para establecer la estrategia, los administradores definen con cuidado los pasos y tiempos necesarios para entregar un servicio o fabricar un producto y luego analizan de manera crítica cada paso para determinar si pueden ahorrar tiempo sin afectar la calidad.

competencia basada en el tiempo
Estrategia enfocada en las prioridades competitivas de velocidad de entrega y velocidad de desarrollo.

Para vincularla con la estrategia corporativa, la administración asigna las prioridades competitivas seleccionadas para cada proceso (y para la cadena de suministro creada para cada uno), congruentes con las necesidades de los clientes, externos e internos. Las prioridades competitivas pueden cambiar con el tiempo. Por ejemplo, considere un gran volumen de un producto estándar, como las impresoras de color de inyección de tinta. En las primeras etapas del periodo de aceleración, cuando las impresoras acaban de entrar al mercado masivo, el proceso de manufactura requiere una calidad uniforme, velocidad de entrega y flexibilidad de volumen. En etapas posteriores, cuando la demanda es alta, las prioridades competitivas se convierten en operaciones de bajo costo, calidad uniforme y entrega a tiempo. Las prioridades competitivas deben cambiar en el tiempo para ajustarse a las condiciones del negocio y las preferencias de los clientes.



La lujosa decoración del lobby del Hotel Ritz Carlton en Palm Beach, Florida, Estados Unidos.

America/Alamy

Ganadores y calificadores de orden

Las prioridades competitivas se centran en lo que pueden hacer las operaciones para ayudar a la empresa a ser más competitiva y son la respuesta a lo que el mercado desea. Otra manera útil de examinar la habilidad de una empresa para tener éxito en el mercado es identificar el factor ganador de orden y los calificadores de orden. Un **ganador de orden** (*order winner*) es un criterio que usan los consumidores para diferenciar los servicios o productos de una empresa de los de otra. Los ganadores de orden pueden incluir precio (que está apoyado por operaciones de bajo costo) y otras dimensiones de calidad, tiempo y flexibilidad. Sin embargo, los ganadores de orden también incluyen criterios que no están directamente relacionados con las operaciones de la empresa, como apoyo después de la venta (¿hay un contrato de servicio de mantenimiento? o ¿existe una política de devolución?); apoyo técnico (¿de qué manera me ayudarán si algo sale mal? o ¿qué conocimientos tienen los técnicos?), y reputación (¿cuánto tiempo ha operado esta compañía? u ¿otros clientes han quedado satisfechos con el servicio o producto?). El buen desempeño puede ser un subconjunto de los criterios de ganador de orden, que van más allá de los criterios operacionales y no operacionales para lograr una venta.

ganador de orden (*order winner*)
Es el criterio usado por los clientes para diferenciar los servicios o productos de una empresa de los de otra.

Los ganadores de orden se derivan de las consideraciones que usan los clientes al decidir a cuál empresa comprarle un servicio o producto en determinado segmento de mercado. Algunos

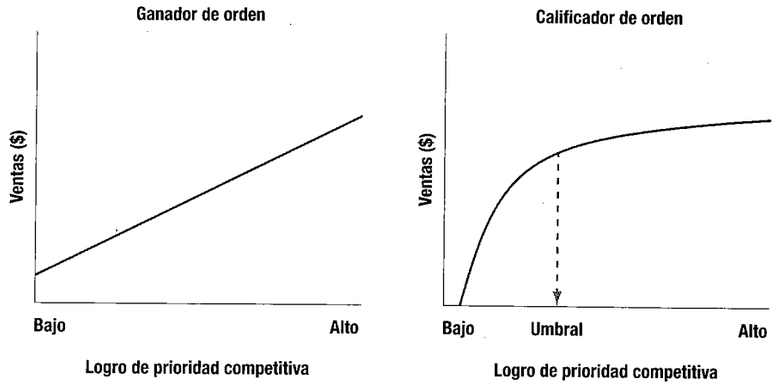
TABLA 1.1 | DEFINICIONES, CONSIDERACIONES DE PROCESOS Y EJEMPLOS DE PRIORIDADES COMPETITIVAS

Costo	Definición	Consideraciones de procesos	Ejemplo
1. **Operaciones de bajo costo**	Entrega de un servicio o producto al menor costo posible para satisfacer a los clientes externos o internos del proceso o de la cadena de suministro.	Para reducir costos, los procesos deben designarse y operarse para hacerlos eficientes usando análisis de procesos rigurosos que aborden fuerza de trabajo, métodos, desperdicio o re-trabajo, costos generales y otros factores, como inversiones en nuevas instalaciones o tecnologías automatizadas para bajar el costo por unidad del servicio o producto.	**Costco** logra costos bajos al diseñar todos los procesos por su eficiencia, estibando productos en tiendas tipos almacén y negociando de manera agresiva con los proveedores. Costco puede proporcionar precios bajos a sus clientes porque ha diseñado operaciones de bajo costo.
Calidad			
2. **La más alta calidad**	Entregar un servicio o producto sobresaliente	Para entregar la más alta calidad, un servicio o proceso puede requerir un alto nivel de contacto con el cliente y altos niveles de ayuda, cortesía y disponibilidad de los servidores. Puede requerir características superiores de producto, tolerancias cerradas y mayor durabilidad del proceso de manufactura.	**Rolex** es conocida globalmente por crear relojes de precisión.
3. **Calidad uniforme**	Producir servicios o bienes que cumplan con las especificaciones de diseño de manera consistente.	Los procesos deben ser diseñados y supervisados para reducir errores, prevenir defectos y lograr resultados similares todo el tiempo, sin importar el "nivel" de la calidad.	**McDonald's** estandariza los métodos de trabajo, los procesos de capacitación de personal y la procuración de materias primas para lograr el mismo producto uniforme y la misma calidad de proceso de una tienda a otra.
Tiempo			
4. **Velocidad de entrega**	Surtido rápido de órdenes de los clientes.	Diseño de procesos para reducir los tiempos de entrega (tiempo que transcurre entre la recepción de una orden y la entrega del producto o servicio) manteniendo holguras en la capacidad de reserva, guardando inventario y usando las mejores opciones de transporte.	**Dell** construyó su relación con los clientes, satisfacción de órdenes y procesos de relación con proveedores para crear una cadena de suministro integrada y ágil que entrega computadoras confiables y baratas a sus clientes con tiempos de entrega cortos.
5. **Entrega oportuna**	Cumplir con los tiempos de entrega prometidos.	Junto con procesos de reducción del tiempo de entrega, la planeación de procesos (pronósticos, citas, toma de la orden, programación y planeación de la capacidad) se usa para aumentar el porcentaje de órdenes enviadas cuando se prometió (con frecuencia, el 95% es una meta típica).	**United Parcel Services (UPS)** utiliza su experiencia en logística y procesos de almacenaje para entregar un volumen muy grande de envíos a tiempo en todo el mundo.
6. **Velocidad de desarrollo**	Introducir con rapidez un nuevo servicio o producto.	Los procesos están dirigidos a lograr la integración entre funciones y la participación de proveedores externos críticos para el proceso de desarrollo de productos o servicios.	**Zara** es conocida por su habilidad de llevar con rapidez diseños de ropa de moda de la pasarela al mercado.
Flexibilidad			
7. **Personalización**	Satisfacción de las necesidades únicas de cada cliente cambiando los diseños del servicio o producto.	Procesos con una estrategia de personalización que suele tener un volumen bajo, contacto cerrado con el cliente y habilidad para reconfigurar los procesos con el fin de satisfacer las diferentes necesidades de los clientes.	**Ritz Carlton** personaliza los servicios según las preferencias individuales de los clientes.
8. **Variedad**	Manejo eficiente de una amplia variedad de servicios y productos.	Los procesos que apoyan la variedad deben ser capaces de volúmenes más grandes que los procesos que apoyan la personalización. Los servicios o productos no son necesariamente únicos según especificaciones de los clientes y pueden tener demandas repetidas.	**Amazon.com** utiliza tecnologías de la información y una relación ágil con el cliente, lo mismo que procesos ágiles de satisfacción de órdenes para entregar confiablemente una vasta variedad de artículos a sus clientes.
9. **Flexibilidad de volumen**	Aceleración y desaceleración rápida de la tasa de producción de servicios o productos para manejar grandes fluctuaciones en la demanda.	Los procesos deben diseñarse con exceso de capacidad y de inventario para manejar las fluctuaciones de la demanda, que puede variar en ciclos de días a meses. Esta prioridad también se puede cumplir con una estrategia que ajuste la capacidad sin acumular inventario o exceso de capacidad.	**El Servicio Postal de Estados Unidos (USPS)** puede tener fluctuaciones de demanda pico severas en las instalaciones grandes de correo donde los procesos tienen un diseño flexible para recibir, clasificar y despachar correo a numerosas sucursales.

clientes piden demostraciones de cierto nivel de desempeño antes de considerar siquiera un servicio o producto. El nivel mínimo requerido de un conjunto de criterios para que una empresa haga negocios en un segmento de mercado determinado se llama **calificador de orden**. Satisfacer el calificador de orden no asegura el éxito competitivo; solo posiciona a la empresa para competir en el mercado. Desde una perspectiva de operaciones, es importante comprender cuáles prioridades competitivas son calificadores de orden y cuáles son ganadores de orden para las inversiones en el diseño y la administración de procesos y cadenas de suministro.

calificador de orden
Es el nivel mínimo requerido de un conjunto de criterios para que una empresa haga negocios en un segmento de mercado determinado.

La figura 1.6 muestra cómo se relacionan los ganadores de orden y los calificadores de orden para lograr las prioridades de competitividad de una empresa. Si no se cumple un nivel umbral mínimo para una dimensión de calificadores de orden (calidad uniforme, por ejemplo), entonces, la empresa queda descalificada y sus clientes ni siquiera volverán a considerarla. Por ejemplo, existe un nivel de calidad uniforme que es el mínimo tolerable por los clientes en la industria automotriz. Cuando el vehículo subcompacto Yugo construido por Zastava Corporation no pudo sustentar el nivel mínimo de calidad, consistencia y confiabilidad esperados por los clientes, tuvo que salir del mercado estadounidense en 1991, a pesar de ofrecer precios muy bajos (ganador de orden) por debajo de los $4,000. Sin embargo, una vez que la empresa califica y logra una calidad uniforme más alta que el umbral, podrá lograr ventas adicionales a una tasa muy baja, invirtiendo más en el mejoramiento de esa dimensión de calificador de orden. Por el contrario, para una dimensión ganadora de orden (es decir, precio sostenido por operaciones de bajo costo), es razonable que una empresa espere ganar ventas y ampliar su porcentaje de mercado bajando sus precios de manera continua, siempre que cumpla adecuadamente con el calificador de orden (es decir, calidad uniforme). Toyota Corolla y Honda Civic han seguido con éxito este camino en el mercado para convertirse en líderes en sus segmentos de mercado.

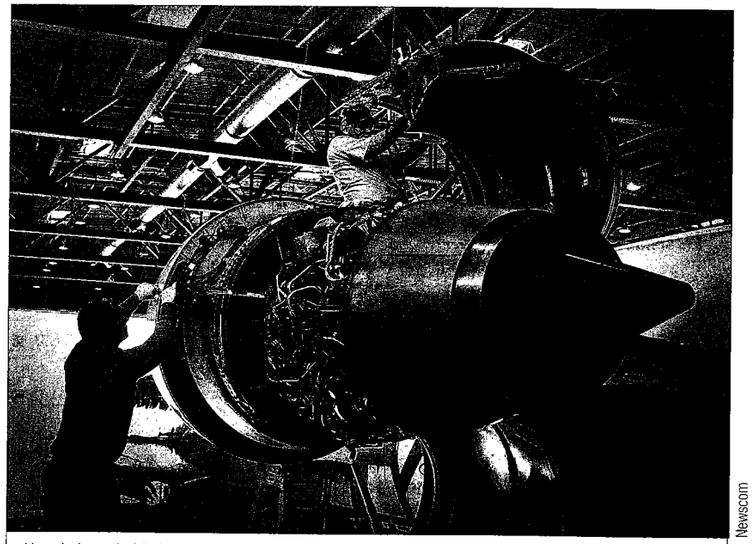


▲ **FIGURA 1.6**
Relación de ganadores de orden y calificadores de orden con las prioridades competitivas

Los ganadores y calificadores de orden se usan con frecuencia en la licitación competitiva. Por ejemplo, antes de que un comprador considere una licitación, puede pedir a los proveedores que documenten su habilidad para proporcionar una calidad uniforme, medida por la adherencia a las especificaciones de diseño para el servicio o componente que proporcionan (calificador de orden). Una vez calificado, el proveedor puede ser seleccionado por el comprador con base en sus precios bajos (ganador de orden) y su reputación (ganador de orden).

Uso de prioridades competitivas: un ejemplo de aerolínea

Para obtener una mejor comprensión de cómo usan las compañías las prioridades competitivas, observaremos una aerolínea importante. Se considerará a dos segmentos de mercado: **1.** pasajeros de primera clase y **2.** pasajeros de clase turista. Los servicios centrales para ambos segmentos son el boletaje y la selección de asientos, el manejo de equipaje y el traslado del cliente a su destino. Los servicios periféricos son muy distintos entre los dos segmentos de mercado. Los pasajeros de primera clase requieren salas de espera separadas en los aeropuertos; tratamiento preferencial para documentar, abordar y salir del avión; asientos más confortables; mejores comidas y bebidas; más atención personalizada (el personal de vuelo se dirige al cliente por su nombre); servicio más frecuente del personal de vuelo; altos niveles de cortesía, y bajos volúmenes de pasajeros (que se suma a la sensación de ser especial). Los pasajeros de clase turista están satisfechos con los servicios estandarizados (sin sorpresas), personal de vuelo cortés y precios bajos. Ambos segmentos de mercado esperan que la aerolínea mantenga su horario. En consecuencia, podemos decir que



Una de las prioridades competitivas de las líneas aéreas es la entrega del servicio a tiempo. Poder reparar y dar mantenimiento a los aviones con rapidez para evitar retrasos es un aspecto crucial.

Newscom

las prioridades competitivas para el segmento de primera clase son *la más alta calidad* y *entrega a tiempo*, mientras que las prioridades para el segmento de clase turista son *operaciones de bajo costo, calidad uniforme* y *entrega a tiempo*.

La aerolínea sabe cuáles deben ser sus capacidades colectivas como empresa pero, ¿cómo se comunica eso a cada uno de sus procesos centrales? Nos concentramos en los cuatro procesos centrales: **1.** relación con el cliente, **2.** desarrollo de nuevos productos/servicios, **3.** satisfacción de órdenes y **4.** relaciones con los proveedores. Las prioridades competitivas se asignan a cada proceso central para lograr el servicio que requiere la satisfacción completa del cliente. La tabla 1.2 muestra algunas asignaciones posibles, solo para dar una idea de cómo funciona esto.

TABLA 1.2 | PRIORIDADES COMPETITIVAS EN DIFERENTES PROCESOS CENTRALES PARA UNA AEROLÍNEA

	PROCESOS CENTRALES			
Prioridad	**Relación con el proveedor**	**Desarrollo de nuevos servicios**	**Satisfacción de órdenes**	**Relación con el cliente**
Operaciones de bajo costo	Los costos de adquirir insumos deben mantenerse al mínimo para permitir un precio competitivo.		Las aerolíneas compiten por precio y deben controlar sus costos de operación.	
La más alta calidad		Los nuevos servicios deben diseñarse con cuidado porque el futuro de la industria de aerolíneas depende de ellos.	El servicio de comida y bebida de alta calidad, y entregado por personal de cabina experimentado, asegura que el servicio proporcionado a los pasajeros de primera clase sea excelente.	Altos niveles de contacto con el cliente y servicio de salas de espera para pasajeros de primera clase.
Calidad uniforme	La calidad de los insumos debe adherirse a las especificaciones requeridas. Además, la información proporcionada a los proveedores debe ser precisa.		Una vez que se establece el nivel de calidad, es importante lograrlo cada vez.	La información y el servicio no deben tener errores.
Velocidad de entrega				Los clientes quieren información inmediata respecto a la programación de vuelos y otra información sobre documentación.
Entrega a tiempo	Los insumos deben entregarse en horarios estrictos.		La aerolínea se esfuerza por llegar a tiempo a sus destinos; de otra manera, los pasajeros pueden perder conexiones con otros vuelos.	
Velocidad de desarrollo		Es importante llegar rápido al mercado para adelantarse a la competencia.		
Personalización		El proceso debe ser capaz de crear servicios únicos.		
Variedad	Deben adquirirse muchos insumos diferentes, incluyendo partes de mantenimiento, comidas y bebidas.		Se requieren operaciones de mantenimiento para una variedad de modelos de aviones.	El proceso debe ser capaz de manejar las necesidades de servicio de todos los segmentos de mercado y programas promocionales.
Flexibilidad de volumen	El proceso debe ser capaz de manejar variaciones en las cantidades de abastecimiento con eficiencia.			

Estrategia de operaciones como patrón de decisiones

La estrategia de operaciones traduce los planes de servicios o productos y las prioridades competitivas para cada segmento de mercado en decisiones que afectan las cadenas de suministro que apoyan esos segmentos de mercado. Aun cuando no esté establecida formalmente, la estrategia de operación actual para cualquier empresa es en realidad el patrón de decisiones que se han tomado para sus procesos y cadenas de suministro. Como se vio en la figura 1.5, la estrategia corporativa proporciona la protección para las decisiones administrativas en las operaciones clave, que contribuyen al desarrollo de la habilidad de la empresa para competir con éxito en el mercado. Una vez que los administradores determinan las prioridades competitivas para un proceso, es necesario evaluar las *capacidades competitivas* del proceso. Cualquier diferencia entre una prioridad competitiva y la capacidad para lograrla debe eliminarse con una estrategia de operaciones efectiva.

El desarrollo de las capacidades y la eliminación de diferencias son el impulso de la estrategia de operaciones. Para demostrar cómo funciona esto, suponga que el gerente de la división de tarjetas de crédito de un banco decide emprender una campaña de marketing para incrementar el negocio de manera significativa, al tiempo que mantener los costos bajos. Un proceso clave en esta división es la facturación de pagos. La división recibe las transacciones de crédito de las tiendas, paga a las tiendas; reúne y envía los estados de cuenta a los tarjetahabientes y procesa los pagos. Se espera que el nuevo esfuerzo de marketing aumente significativamente el volumen de cuentas y pagos. Al evaluar las capacidades, el proceso deberá servir a los clientes del banco y cumplir con los retos de la nueva campaña de marketing; la administración asigna las siguientes prioridades competitivas para el proceso de facturación y pagos:

- *Operaciones de bajo costo.* Es importante mantener los costos bajos en el procesamiento de los estados de cuenta porque los márgenes de ganancia son estrechos.
- *Calidad uniforme.* El proceso debe producir facturas de manera consistente, hacer pagos a las tiendas y registrar con precisión los pagos de los tarjetahabientes.
- *Velocidad de entrega.* Las tiendas quieren que sus pagos por las compras a crédito sean rápidos.
- *Flexibilidad de volumen.* Se espera que la campaña de marketing genere muchas más transacciones en un periodo corto.

La administración supone que los clientes evitarán hacer negocios con un banco que no produce estados de cuenta o pagos con exactitud. En consecuencia, la calidad uniforme es un calificador de orden para este proceso.

¿El proceso de facturación y pagos está a la altura del reto competitivo? La tabla 1.3 muestra cómo igualar las capacidades con las prioridades y descubrir diferencias en la estrategia de operaciones de la división de tarjetas de crédito. El procedimiento para evaluar una estrategia de operaciones comienza por identificar buenas medidas para cada prioridad. Cuanto más cuantitativas sean las medidas, mejor. Se reúnen datos para cada medida, para determinar las capacidades actuales del proceso. Se identifican las diferencias comparando cada capacidad con los valores de las metas de la administración para las medidas y las diferencias no aceptables se eliminan con las acciones adecuadas.

La división de tarjetas de crédito muestra diferencias significativas en las capacidades del proceso para operaciones de bajo costo. El remedio de la administración es rediseñar el proceso de manera que se reduzcan los costos, pero no se deterioren las otras prioridades competitivas. De igual manera, para tener flexibilidad de volumen, la administración se da cuenta de que un nivel

TABLA 1.3 | EVALUACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE OPERACIONES DEL PROCESO DE FACTURACIÓN Y PAGOS

Prioridad competitiva	Medida	Capacidades	Diferencia	Acción
Operaciones de bajo costo	■ Costo por estado de cuenta	■ $0.0813	■ La meta es $0.06	■ Eliminar microfilmación y almacenamiento de estados de cuenta
	■ Costo postal por semana	■ $17,000	■ La meta es $14,000	■ Desarrollar procesos basados en Internet para entregar estados de cuenta
Calidad uniforme	■ Porcentaje de error en información de cuentas	■ 0.90%	■ Aceptable	■ Sin acción
	■ Porcentaje de error en pagos postales	■ 0.74%	■ Aceptable	■ Sin acción
Velocidad de entrega	■ Tiempo de entrega para procesar los pagos a tiendas	■ 48 horas	■ Aceptable	■ Sin acción
Flexibilidad de volumen	■ Utilización	■ 98%	■ Demasiado alta para apoyar incrementos de volumen rápidos	■ Contratar empleados temporales
				■ Mejorar los métodos de trabajo

alto de utilización no conduce al procesamiento rápido de oleadas de volumen manteniendo la velocidad de entrega. Las acciones recomendadas ayudarán a construir una capacidad para cumplir con demandas más volátiles.

Tendencias en la administración de operaciones

Varias tendencias actuales tienen un gran impacto en la administración de operaciones: mejoras en la productividad, competencia global, aspectos éticos, diversidad de la fuerza de trabajo y efectos sobre el medio ambiente. Acelerar el cambio en la forma de tecnología de la información, el comercio electrónico, la robótica e Internet están afectando de manera drástica el diseño de nuevos servicios y productos, al igual que las ventas, satisfacción de órdenes y procesos de compra de una empresa. En esta sección, observamos estas tendencias y sus retos para los administradores de operaciones.

Mejoramiento de la productividad

La productividad es una medida básica de desempeño para economías, industrias, empresas y procesos. Mejorar la productividad es una tendencia importante en la administración de operaciones porque todas las empresas enfrentan presiones para mejorar sus procesos y sus cadenas de suministro para competir en los mercados nacionales y extranjeros. La **productividad** es el valor de las salidas (de productos y servicios) efectuadas, dividido entre los valores de los recursos de entrada (salarios, costo de equipo, etcétera) usados:

productividad
Es el valor de las salidas (productos y servicios) efectuadas, dividido entre los valores de los recursos de entrada (salarios, costo de equipo, etcétera).

$$\text{Productividad} = \frac{\text{salida}}{\text{entrada}}$$

El empleo en la manufactura tuvo su pico en justo abajo de 20 millones a mediados de 1979, y disminuyó casi 8 millones de 1979 a 2011.[3] Sin embargo, la productividad en la manufactura en Estados Unidos se ha elevado de manera estable, conforme se logra mayor capacidad de producción de forma eficiente con una fuerza de trabajo más ligera. Es interesante, incluso sorprendente, comparar las mejoras en la productividad en los sectores de servicio y manufactura. En Estados Unidos, el empleo en el sector servicio ha crecido con rapidez, superando al sector de manufactura. Ahora emplea 90% de la fuerza de trabajo. Pero las mejoras en productividad del sector servicio han sido mucho menores. Si el crecimiento de la productividad en el sector servicio se estanca, también lo hace el estándar de vida global sin importar en qué parte del mundo viva usted. Otros países industrializados importantes, como Japón y Alemania, están experimentando el mismo problema. Pero todavía aparecen señales de mejora. El aumento en la inversión, más allá de las fronteras, puede estimular las mejoras en la productividad al exponer a las empresas a una competencia más fuerte. La inversión, cada vez mayor, en tecnología de la información que realizan los proveedores de servicio también aumenta la productividad.

Medición de la productividad Como administrador, ¿cómo mide usted la productividad de sus procesos? Existen muchas medidas. Por ejemplo, el valor de la salida se puede medir por lo que paga el cliente o simplemente por el número de unidades producidas o clientes servidos. El valor de las entradas se puede juzgar por su costo o sencillamente por el número de horas trabajadas.

Los administradores suelen utilizar varias mediciones razonables y supervisar las tendencias en áreas específicas que necesitan mejoras. Por ejemplo, un administrador en una compañía de seguros puede medir la productividad en la oficina como el número de pólizas procesadas por empleado a la semana. Un administrador en una compañía de alfombras puede medir la productividad de los instaladores como el número de metros cuadrados de alfombra instalados por hora. Ambas medidas reflejan la *productividad de la mano de obra*, que es un índice de producción por persona o por hora trabajada. Se pueden usar mediciones similares para la *productividad de la máquina*, donde el denominador es el número de máquinas. También es posible tomar en cuenta varias entradas. La *productividad multifactorial* es un índice de la salida que proporciona más de uno de los recursos usados en la producción; puede ser el valor de la salida dividido entre la suma de mano de obra, materiales y costos generales. He aquí un ejemplo:

EJEMPLO 1.1 **Cálculos de la productividad**

MyOMLab
El tutor 1.1 en MyOMLab proporciona un ejemplo nuevo para el cálculo de la productividad.

Calcule la productividad para las siguientes operaciones:

a) Tres empleados procesan 600 pólizas de seguros en una semana. Trabajan ocho horas al día, cinco días a la semana

b) Un equipo de trabajadores hace 400 unidades de un producto que se vende a $10 cada uno en el mercado. El departamento de contabilidad informa que los costos reales para este trabajo son $400 de mano de obra, $1,000 de materiales y $300 de costos generales.

[3]Paul Wiseman, "Despite China's Might, US Factories Maintain Edge", *The State* y *The Associated Press* (31 de enero, 2011).

SOLUCIÓN

a) $$\text{Productividad de mano de obra} = \frac{\text{pólizas procesadas}}{\text{horas empleadas}}$$

$$= \frac{600 \text{ pólizas}}{(3 \text{ empleados})(40 \text{ horas/empleado})} = 5 \text{ pólizas por hora}$$

b) $$\text{Productividad multifactorial} = \frac{\text{valor de la salida}}{\text{costo de mano de obra + costo de materiales + costos generales}}$$

$$= \frac{(400 \text{ unidades})(\$10 \text{ por unidad})}{\$400 + \$1{,}000 + \$300} = \frac{\$4{,}000}{\$1{,}700} = 2.35$$

PUNTO DE DECISIÓN

Queremos un factor de productividad tan alto como sea posible. Estas medidas deben compararse con los niveles de desempeño en periodos anteriores y con metas futuras. Si no cumplen las expectativas, deben investigarse las oportunidades de mejora en el proceso.

El papel de la administración La manera en que se administran los procesos tiene un papel importante en la mejora de la productividad. Los administradores deben examinar la productividad desde la cadena de suministro porque es el desempeño colectivo de los procesos individuales el que marca la diferencia. El reto es incrementar el valor de la salida respecto del costo de la entrada. Si los procesos pueden generar más salida o salida de mejor calidad usando la misma cantidad de entrada, la productividad aumenta. Si pueden mantener el mismo nivel de salida cuando se reduce el uso de recursos, la productividad se incrementa también.

Competencia global

La mayor parte de los negocios se dan cuenta de que, para prosperar, deben observar a sus clientes, proveedores, la ubicación de sus instalaciones y a competidores en términos globales. Las empresas han encontrado que pueden incrementar su penetración en el mercado llevando sus instalaciones de producción a otros países, porque les da una presencia local que reduce la aversión del cliente a comprar productos importados. La globalización también permite a las empresas equilibrar los flujos de efectivo de otras regiones del mundo cuando las condiciones económicas son menos robustas en el país de origen. Sonoco, una compañía de $4 mil millones anuales de empaques industriales y para el consumidor en Hartsville, Carolina del Sur, tiene 335 oficinas y plantas en el mundo, en Australia, China, Europa, México, Nueva Zelandia y Rusia, con 41 plantas de productos industriales y seis fábricas de papel, tan solo en Europa. Estas operaciones globales dieron como resultado ventas internacionales e incrementos en sus ingresos, aun cuando las ventas nacionales se cayeron en 2007. ¿Cómo lo logró Sonoco?[4] Localizar sus operaciones en países con leyes de impuestos favorables es una razón. Las tasas de impuestos más bajas en Italia y Canadá ayudaron a aumentar el margen de ingresos. Otra razón fue un dólar débil, por lo que obtuvo un impulso de $46 millones del cambio de monedas extranjeras en dólares cuando Sonoco exportó artículos, como empaques de bolsas de botanas y tubos y núcleos usados para enrollar cintas y textiles. La diferencia en la tasa de cambio fue más que suficiente para contrarrestar el gasto adicional de más materias primas, los envíos y los costos de energía en Estados Unidos.

Sonoco es un fabricante global líder de empaques industriales y de empaques para el consumidor, con más de 300 sucursales en 35 ciudades, que dan servicio a 85 naciones.

PR Newswire/Associated Press

[4]Ben Werner, "Sonoco Holding Its Own", *The State* (7 de febrero, 2008); **www.sonoco.com**, 2008.

La mayor parte de los productos actuales son compuestos de materiales y servicios de todo el mundo. Las camisas polo de Gap se cosen en Honduras con tela cortada en Estados Unidos. Al sentarse a ver una película en una sala Cineplex (canadiense), usted puede comer una barra de chocolate Crunch de Nestlé (suiza), mientras que la película la filmó Columbia Pictures (japonesa). Cinco desarrollos estimularon la necesidad de estrategias globales sólidas: **1.** mejoras en el transporte y las tecnologías de comunicación, **2.** regulaciones más flexibles para las instituciones financieras, **3.** mayor demanda de bienes y servicios importados, **4.** reducción en las cuotas de importación y otras barreras del comercio internacional, debido a la formación de bloques comerciales, como la Unión Europea (UE) y los tratados de libre comercio de Norte América (TLCNA), y **5.** las ventajas de costo comparativas.

Ventajas de costo comparativas Por tradición, China e India han sido fuentes de mano de obra de bajo costo, pero calificada, aun cuando la ventaja de costo está disminuyendo conforme estos países han fortalecido su economía. A finales de los 90 las compañías fabricaban productos en China para tener un punto de apoyo en un mercado enorme o para obtener mano de obra barata para producir artículos de baja tecnología a pesar de las dudas en cuanto a la calidad de la fuerza de trabajo y los malos sistemas carreteros y ferroviarios. Sin embargo, hoy las nuevas fábricas de China, como las de la zona industrial de Pudong en Shanghai, producen una amplia variedad de productos que se venden en Estados Unidos y en otras regiones del mundo. Los fabricantes estadounidenses abandonan cada vez más los sectores con bajos márgenes de ganancias como aparatos electrónicos, zapatos y juguetes, en favor de países en desarrollo como China e Indonesia. En su lugar, se enfocan en la producción de bienes costosos como chips de computadora, maquinaria avanzada y productos para el cuidado de la salud, que son complejos y requieren mano de obra especializada.

Las compañías extranjeras abrieron decenas de miles de nuevas instalaciones en China durante la década pasada. Muchos bienes que Estados Unidos importa de China ahora vienen de compañías de propiedad extranjera con operaciones ahí. Estas compañías incluyen fabricantes de teléfonos, como Nokia y Motorola y casi todas las marcas de zapatos y ropa. Muchos fabricantes importantes más también están ahí. Las implicaciones para la competencia son enormes. Las compañías que no tienen operaciones en China enfrentan una competencia difícil en cuanto a precios bajos con las compañías que sí las tienen. Entonces deben enfocarse en velocidad y corridas de producción pequeñas.

Lo que China es para la manufactura, India lo es para el servicio. Al igual que con la manufactura, el costo de mano de obra es un factor clave. Las compañías de *software* en India se han vuelto sofisticadas en sus aplicaciones y ofrecen grandes ventajas de costo. La industria de servicios de computación también se ha visto afectada. También ha afectado a las operaciones de infraestructura (o de trastienda) por la misma razón. Muchas empresas utilizan a las compañías en India para llevar la contabilidad y los libros, preparar declaraciones de impuestos y procesar reclamaciones de seguros. Muchas compañías de tecnología, como Intel y Microsoft, están abriendo operaciones significativas de investigación y desarrollo (I&D) en India.

Paul J. Richards/AFP/Getty Images

La escasez de componentes surtidos por proveedores impidió que Nintendo cumpliera con la demanda de los clientes para su popular sistema de juego Wii.

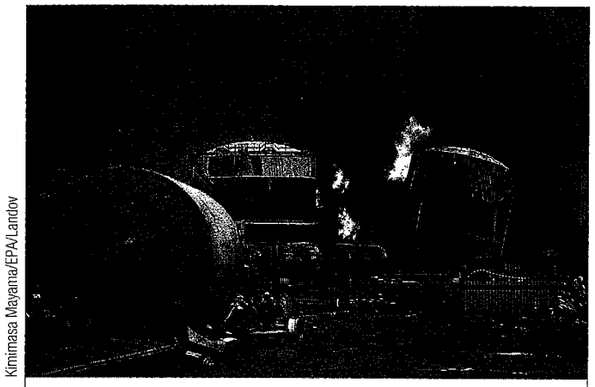
Desventajas de la globalización Por supuesto, las operaciones en otros países pueden tener desventajas. Una empresa puede tener que renunciar a la propiedad de su tecnología si pasa a alguien más la manufactura de sus componentes o a proveedores en otros países, o si los proveedores necesitan la tecnología de la empresa para lograr las metas de calidad y costo deseadas. También puede haber riesgos políticos. Cada nación puede ejercer su soberanía sobre las personas y propiedades dentro de sus fronteras. El caso extremo es la nacionalización, en la que el gobierno puede tomar posesión de los bienes de una empresa sin pagar compensación. Exxon y otras grandes compañías petroleras multinacionales están reduciendo sus operaciones en Venezuela debido a preocupaciones sobre una posible nacionalización. Y todavía más, una empresa puede alejar a sus clientes de su país si se pierden empleos por las operaciones en el extranjero.

Las habilidades de los empleados pueden ser menores en otros países y requerir tiempo de capacitación adicional. Las empresas de Corea del Sur trasladaron gran parte de su producción de zapatos deportivos a China e Indonesia, que tienen salarios más bajos, pero todavía fabrican en

PRÁCTICA ADMINISTRATIVA 1.1 El temblor en Japón y su impacto en la cadena de suministro

El distrito noroeste de Touhoku en Japón recibió el impacto de un conjunto masivo de temblores la tarde del 11 de marzo de 2011, que pronto fueron seguidos por un tsunami que envió olas de más de 33 pies de altura a la ciudad portuaria de Sendai, 80 millas adentro y a la velocidad de un avión. Con escala de 9.0 de Richter, fue uno de los sismos más grandes registrados en Japón. Cambió el eje de la Tierra seis pulgadas, con un impacto que se sintió a 250 millas, en Tokio, y que movió el este de Japón 13 pies hacia el Norte de América. Además de las grandes pérdidas de vidas y los peligros de la radiación nuclear que surgieron al dañarse el reactor nuclear de Daiichi en Fukushima, el daño a las plantas manufactureras en Japón expuso los peligros de las cadenas de suministros globales interconectadas y su impacto en fábricas localizadas en la otra mitad del mundo.

El impacto del sismo era en particular agudo para las industrias que dependían de partes electrónicas complejas proporcionadas por Japón. Shi-Etsu Chemical Company es el mayor productor mundial de tarjetas de silicón y surte 20% de la capacidad global. Su planta centralizada está a 40 millas de la instalación nuclear de Fukushima y fue dañada por el temblor, con un efecto dominó para Intel y Toshiba, que compraban tarjetas a Shin-Etsu. De la misma forma, una escasez de sensores para automóviles fabricados por Hitachi casi detuvo la producción de vehículos en Alemania, España y Francia, mientras que Chrysler está reduciendo horas extra en sus fábricas de México y Canadá para conservar partes de Japón. Todavía peor, General Motors detuvo la producción completa en una planta en Luisiana y Ford cerró una planta de camiones en Kentucky, como consecuencia del sismo. El abastecimiento de vehículos como el Prius de Toyota y el Lexus será limitado en Estados Unidos por las interrupciones de la producción en sus plantas japonesas. También afectó a China, donde la ZTE Corporation enfrenta escasez de baterías y pantallas LCD para sus teléfonos celulares. Parecido es el caso de Lenovo en China por el abastecimiento reducido de componentes provenientes de Japón para el ensamble de sus computadoras de tableta. Estas interrupciones debidas a la dependencia de pequeñas redes concentradas de proveedores en Japón y los sistemas de producción y logísticos conectados globalmente han ocasionado despidos y aumentos en los precios de productos afectados, así como pérdidas económicas que se han sentido en todo el mundo.


Kimimasa Mayama/EPA/Landov

Después de los fuertes sismos y del tsunami, las llamas y el humo se elevan de una refinería petrolera cercana a una estación de energía calorífica en Shiogama, en la prefectura de Miyagi, en el norte de Japón, como a 220 kilómetros al norte de Tokio.

Fuentes: Don Lee y David Pearson, "Disaster in Japan exposes supply chain weakness", *The State* (8 de abril, 2011), pp. B6-B7; "Chrysler reduces overtime to help Japan", *The Associated Press* (8 de abril, 2011) impreso en *The State* (6 de abril, 2011), p. B7: Krishna Dhir, "From the Editor," *Decision Line*, vol. 42, núms. 2, 3.

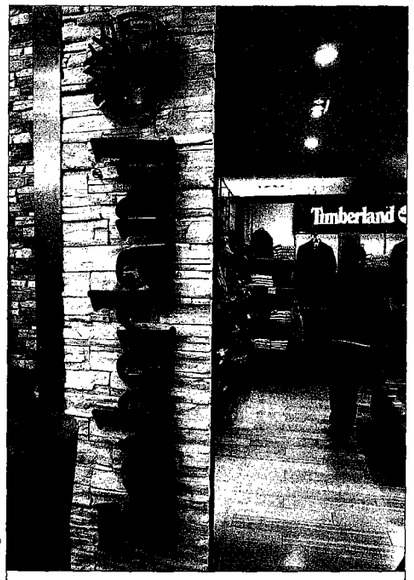
Corea del Sur sus zapatos de caminata y sus patines en línea porque requieren habilidades mayores. Además, cuando las operaciones de una empresa están dispersas por el mundo, los tiempos de respuesta a los clientes pueden ser mayores. Estos aspectos se analizarán con más detalle en el capítulo 10, "Diseño de la cadena de suministro", porque deben considerarse al tomar decisiones acerca de la subcontratación (*outsourcing*). Coordinar los componentes de un arreglo amplio de proveedores puede ser un reto, como lo vio Nintendo en la producción y la distribución mundial de sus sistemas Wii.[5] A pesar de haber incrementado la capacidad dos veces desde abril de 2007 a 1.8 millones de Wii al mes, Nintendo solo podía enviar las unidades completas a tiendas como Best Buy, Costco y Circuit City en cantidades limitadas que no satisfacían la gran demanda de la temporada de fin de año en 2007 y después. Además, como lo muestra la práctica administrativa 1.1, los eventos catastróficos como el sismo de Japón afectan la producción y las operaciones en Europa y Estados Unidos porque las cadenas de suministro conectadas pueden pasar las interrupciones con rapidez a través de las fronteras internacionales.

La fuerte competencia global afecta las industrias en todos lados. Por ejemplo, los fabricantes estadounidenses de acero, electrodomésticos, bienes duraderos para el hogar, maquinaria y productos químicos han visto caer sus porcentajes de mercado tanto nacionales como internacionales. Con el valor del comercio internacional en servicios, ahora en más de $2 billones anuales, los bancos, el procesamiento de datos, las aerolíneas y los servicios de consulta comienzan a enfrentar las mismas presiones internacionales. Los bloques comerciales, como la UE y el TLC, cambian más el panorama competitivo tanto en servicios como en manufactura. Sin importar cuál sea el área del mundo en que viva, el reto es: *a*) producir servicios o bienes de consumo que puedan competir en un mercado global y *b*) diseñar el proceso que lo haga posible.

Aspectos éticos, de diversidad de la fuerza de trabajo y ambientales

Los negocios afrontan más dilemas éticos que en el pasado, intensificados por el incremento en la presencia global y los rápidos cambios tecnológicos. Conforme las compañías localizan sus ope-

[5]Peter Svensson, "GameStop to Sell Rain Checks for Wii", *The State* (18 de diciembre, 2007).



Weng lei/AP Photos

Un consumidor chino observa los productos Timberland en una tienda departamental en Shanghai, China (11 de noviembre de 2010). Timberland busca beneficiarse con el incremento en los ingresos en la economía de crecimiento más rápido y también invertirá en sus tiendas en Hong Kong.

raciones y adquieren más proveedores y clientes en otros países, los dilemas éticos potenciales surgen cuando el negocio se maneja con reglas diferentes. Algunos países son más sensibles que otros acerca de conflictos de interés, sobornos, discriminación de minorías y mujeres, niveles de salario mínimo y lugar de trabajo poco seguro. Los administradores deben decidir si diseñar y operar procesos que hagan más que solo cumplir los estándares locales. Además, el cambio tecnológico trae debates acerca de la protección de datos y la privacidad del cliente. En un mundo electrónico, los negocios están geográficamente lejos de sus clientes, de manera que una reputación de confianza es fundamental.

En el pasado, muchas personas veían los problemas ambientales, como los desperdicios tóxicos, la contaminación del agua potable, la mala calidad del aire y los cambios climáticos como aspectos de calidad de vida; hoy muchas personas y negocios los ven como cuestión de supervivencia. La industria automotriz ha realizado innovaciones en vehículos eléctricos e híbridos en respuesta a las preocupaciones ambientales y a los beneficios económicos que surgen al usar combustibles menos costosos. Las naciones industrializadas tienen una carga en particular porque sus poblaciones consumen en proporción muchos más recursos. Solo siete países, incluyendo Estados Unidos y Japón, producen casi la mitad de todos los gases de invernadero. Ahora China e India se han agregado a esa huella de carbón debido a su vasta expansión económica y de manufactura en la década pasada.

Aparte de las iniciativas del gobierno, las grandes compañías internacionales tienen la responsabilidad de crear prácticas con conciencia ambiental y pueden hacerlo de manera rentable. Por ejemplo, Timberland tiene más de 110 tiendas en China por la gran demanda de sus botas, zapatos, ropa y equipo de campo en ese país. Resalta sus credenciales ambientales y la responsabilidad social corporativa a través de inversiones como los esfuerzos de reforestación en el Desierto de Horqin en China. Timberland espera duplicar el número de tiendas en los próximos tres años, diferenciándose de la competencia en términos ambientales. Analizamos estos aspectos con más detalle en el capítulo 13, "Sustentabilidad de la cadena de suministro y logística humanitaria".

El reto está claro: los aspectos éticos, de diversidad de la fuerza de trabajo y ambientales se convierten en parte del trabajo de todo administrador. Al diseñar y operar procesos, los administradores deben considerar la integridad, el respeto por el individuo y la satisfacción del cliente junto con las medidas de desempeño convencionales como productividad, calidad, costo y ganancias.

La administración de operaciones como un conjunto de decisiones

En este libro se cubren las decisiones más importantes que toman los administradores de operaciones en la práctica. A nivel estratégico, los administradores de operaciones están involucrados en el desarrollo de nuevas capacidades y el mantenimiento de las existentes para servir mejor a los clientes externos de la empresa. Los administradores de operaciones diseñan nuevos procesos que tienen implicaciones estratégicas y están muy involucrados en el desarrollo y la organización de las cadenas de suministro que vinculan a los proveedores externos y los clientes externos con los procesos internos de la empresa. Con frecuencia, los administradores de operaciones son responsables de medidas de desempeño clave como costo y calidad. Estas decisiones tienen un impacto estratégico porque afectan los procesos que la empresa usa para adquirir una ventaja competitiva.

Las decisiones de los administradores de operaciones deben reflejar la estrategia corporativa. Planes, políticas y acciones deben ligarse con los de otras áreas funcionales para apoyar las metas globales y los objetivos de la empresa. Estas ligas se facilitan al tomar la visión del proceso de la empresa. Sin importar si usted aspira a ser un administrador de operaciones o solo desea usar los principios de la administración de operaciones para convertirse en un administrador más efectivo, recuerde que la administración efectiva de personas, capital, información y materiales es crítica para el éxito de cualquier proceso y cadena de suministro.

En tanto estudie administración de operaciones, mantenga en mente dos principios:

1. Cada parte de una organización, no solo la función de operaciones, debe diseñar y operar procesos que son parte de una cadena de suministro y que maneja aspectos de calidad, tecnología y personal.
2. Cada función de una organización tiene su propia identidad, pero está conectada con operaciones de procesos compartidos.

Las grandes decisiones estratégicas no llevan a ningún lado si las decisiones tácticas que las sustentan están equivocadas. Los administradores de operaciones también toman parte en estas decisiones tácticas, incluyendo la mejora de procesos y la medición del desempeño, la administración y planeación de proyectos, la generación de planes de producción y personal, el manejo de

inventarios y la programación de recursos. En este libro encontrará numerosos ejemplos de estas decisiones y las implicaciones de tomarlas. También aprenderá acerca de las herramientas para la toma de decisiones que usan los administradores en la práctica para reconocer y definir el problema y luego elegir la mejor solución.

Herramientas para la toma de decisiones computarizada

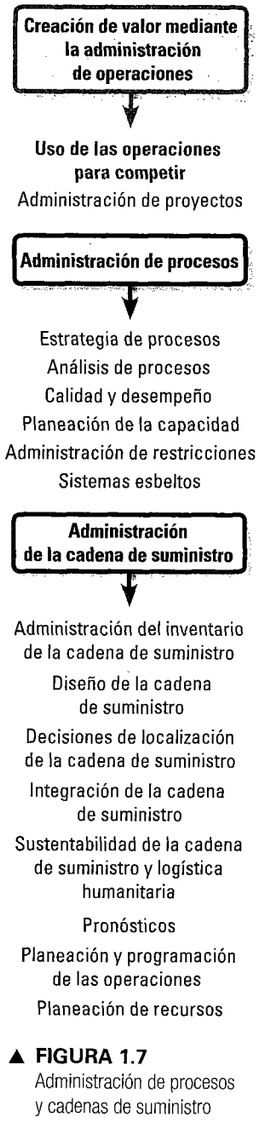
MyOMLab

MyOMLab contiene un conjunto único de herramientas de decisiones que llamamos OM Explorer. Este paquete contiene poderosas rutinas basadas en Excel para resolver problemas que suelen ser frecuentes en la práctica. OM Explorer también tiene varias rutinas tutores para ayudar en todas las técnicas analíticas difíciles presentadas aquí y se puede acceder a ellas desde un menú desplegable. MyOMLab también contiene POM para Windows, que es un conjunto extenso de herramientas de decisión útiles para completar su arsenal de recursos para resolver problemas de operaciones, muchos modelos activos (hojas de cálculo diseñadas para ayudarle a aprender más acerca de las técnicas de toma de decisiones importantes), y un paquete de simulación basado en una hoja de cálculo llamado SimQuick.

Para abordar los retos de la administración de operaciones

¿Cómo pueden las empresas vencer los retos actuales y futuros? Una manera es reconocer los retos como oportunidades para mejorar los procesos existentes y las cadenas de suministro, o bien, para crear otros nuevos y transformadores. La administración de procesos y cadenas de suministro va más allá de su diseño, requiere la habilidad de asegurar que logren sus metas. Las empresas deben administrar sus procesos y cadenas de suministro para maximizar su competitividad en los mercados a los que sirven. Compartimos esta filosofía de administración de operaciones, como se ilustra en la figura 1.7. Usamos esta figura al principio de cada capítulo para mostrar la posición del tema del capítulo en nuestra filosofía de la administración de operaciones. Por otro lado, este libro contiene varios suplementos de capítulo que no se muestran de manera explícita en la figura 1.7.

La figura muestra que todas las decisiones efectivas de operaciones surgen de una estrategia de operaciones sólida. En consecuencia, nuestro libro tiene tres partes principales: Parte 1: "Creación de valor mediante la administración de operaciones", Parte 2: "Administración de procesos" y Parte 3: "Administración de las cadenas de suministro". Los siguientes temas reflejan nuestro enfoque, primero comprender la forma en que las operaciones de una empresa pueden ayudar a proporcionar un fundamento sólido para la competitividad antes de abordar las decisiones de diseño de procesos esenciales que apoyarán sus estrategias. Cada parte comienza con un análisis de estrategia para apoyar las decisiones en esa parte. Una vez que está claro cómo la empresa diseña y mejora sus procesos y cómo implanta esos procesos, examinamos el diseño y operación de las cadenas de suministro ligadas a los procesos, sean internas o externas a la empresa. El desempeño de las cadenas de suministro determina los resultados de la empresa, que incluyen servicios o productos proporcionados por la empresa, los resultados financieros y la retroalimentación de los clientes. Estos resultados, que se consideran en el plan estratégico de la empresa, se estudian en todo el libro.



▲ **FIGURA 1.7**
Administración de procesos y cadenas de suministro

Parte 1. Creación de valor mediante administración de operaciones

El capítulo que concluye la parte 1 es un análisis de los métodos y las herramientas de la administración de proyectos. La administración de proyectos es un enfoque efectivo para poner en marcha la estrategia de operaciones con la introducción de nuevos servicios o productos, lo mismo que los cambios en los procesos o las cadenas de suministro de una empresa. El suplemento A, "Toma de decisiones", sigue a este capítulo y cubre algunas técnicas de decisión básicas que se aplican en muchos capítulos.

Parte 2. Administración de procesos

La parte 2 está dedicada al análisis de procesos y las formas de mejorarlos para cumplir con las metas de la estrategia de operaciones. Comenzamos por abordar los aspectos estratégicos del diseño de procesos y luego presentamos un enfoque sistemático de seis pasos para analizar el proceso. Cada capítulo en esta parte tiene que ver con algún aspecto de ese enfoque. Se estudian las herramientas que ayudan a los administradores a analizar los procesos y se exponen los métodos que usan las empresas para medir el desempeño del proceso y la calidad. Estos métodos proporcionan el fundamento de programas como Six Sigma y administración de la calidad total.

Determinar la mejor capacidad del proceso con la administración efectiva de restricciones y "aligerar" los procesos eliminando actividades que no agregan valor, al tiempo que se mejoran las que sí lo hacen, son también decisiones clave en el rediseño de procesos. Las actividades involucradas en la administración de procesos son esenciales para proporcionar beneficios significativos

a la empresa. La administración efectiva de sus procesos puede permitir a la compañía reducir sus costos y aumentar la satisfacción del cliente.

Parte 3. Administración de la cadena de suministro

La administración de la cadena de suministro está basada en la administración del proceso y la estrategia de operaciones. En la parte 2, nos centramos en los procesos individuales. La parte 3 está dedicada a las cadenas de suministro que incluyen procesos tanto internos como externos a la empresa y las herramientas que refuerzan su ejecución. Comenzamos esta parte con la administración de inventarios en la cadena de suministro. Seguimos con una comprensión de la manera en que el diseño de la cadena de suministro y las decisiones estratégicas importantes, como el *outsourcing*, la colocación del inventario y la localización de las instalaciones afectan el desempeño. También estudiaremos los aspectos contemporáneos que rodean la integración de la cadena de suministro y el impacto de los mismos en el medio ambiente. Seguimos con capítulos dedicados a tres actividades clave de planeación para la operación efectiva de las cadenas de suministro: **1.** pronósticos, **2.** planeación y programación de las operaciones y **3.** planeación de recursos.

Agregar valor con la innovación de procesos en las cadenas de suministro

Es importante observar que la operación efectiva de una empresa y su cadena de suministro es tan importante como la implantación de sus procesos. La innovación de procesos marca una gran diferencia en una industria de bajo crecimiento. Examinar los procesos desde la perspectiva del valor que agregan es una parte importante para la agenda del administrador exitoso, como lo es la comprensión de los vínculos entre los procesos centrales y las cadenas de suministro relacionadas con las prioridades competitivas, los mercados y la estrategia de operaciones de una empresa. Como se ilustra en la práctica administrativa 1.2 de la agencia Progressive Insurance, ¿quién dice que la administración de operaciones no es importante?

PRÁCTICA ADMINISTRATIVA 1.2 La innovación operativa es un arma competitiva en Progressive Insurance

Progressive Insurance, una aseguradora de automóviles que inició su negocio en 1937, tenía ventas aproximadas de 1,300 millones en 1991. Para 2011, era uno de los grupos de seguros de automóviles de pasajeros privados más grandes de Estados Unidos, con primas anuales por más de $14 mil millones. ¿Cómo logró esta extraordinaria tasa de crecimiento en una industria con 100 años de antigüedad que por tradición no experimenta ese tipo de crecimiento?

La respuesta es sencilla, pero la implantación fue un reto: ofrecer precios bajos, mejor servicio y más valor para los consumidores mediante la innovación de las operaciones. *Innovar las operaciones* significa diseñar por completo nuevos procesos, haciendo cambios drásticos en la forma en que se realiza el trabajo. Por ejemplo, Progressive reinventó el procesamiento de reclamaciones para bajar costos y aumentar la satisfacción y retención de los clientes. El sitio web dedicado a la agencia, ForAgentsOnly.com (FAO), permite a los agentes acceder con rapidez, facilidad y seguridad a los pagos; ver información de las pólizas, cobros y reclamaciones, y enviar la información del presupuesto directamente al cliente por correo electrónico. Se fomenta en los clientes realizar tareas de rutina por Internet, como cambios de domicilio o verificar sus pagos. Además, el "manejo de respuesta inmediata a las reclamaciones" permite a un asegurado comunicarse por teléfono con un representante las 24 horas del día. El representante envía de inmediato a un ajustador para inspeccionar el vehículo dañado. El ajustador maneja al lugar del accidente en una furgoneta de la compañía, examina el vehículo, prepara la estimación de los daños en el sitio y, si es posible, elabora un cheque en ese momento. Ahora toma nueve horas completar el ciclo, comparado con los 7 a 10 días que tomaba antes de que se hicieran los cambios.

Las innovaciones operacionales a los procesos de la cadena de suministro de la relación con el cliente y la satisfacción de reclamaciones para el procesamiento de las reclamaciones produjeron varios beneficios. Primero, los asegurados reciben un servicio más rápido con menos problemas, lo cual ayuda a retenerlos como clientes. Segundo, el ciclo más corto redujo significativamente los costos. Los costos de almacenar vehículos dañados y proporcionar automóviles rentados, con frecuencia, pueden arrasar con las ganancias esperadas de una póliza de seis meses. Este costo se vuelve significativo cuando la compañía procesa más de 10,000 reclamaciones al día. Tercero, el diseño de la nueva cadena de suministro requiere menos personas para manejar una reclamación, lo que reduce los costos de operación. Por último, las innovaciones operacionales mejoraron la habilidad de Progressive para detectar fraudes al llegar a la escena del accidente con rapidez y ayudaron a reducir los pagos porque los asegurados muchas veces aceptan menos dinero si el pago es rápido y sin problemas. Progressive Insurance encontró la manera de diferenciarse en una industria con bajo crecimiento sin comprometer su rentabilidad y logró esa hazaña con la innovación de las operaciones.

David Adame/AP Images

Mediante las innovaciones operacionales que agregan valor a sus productos y comerciales pegajosos, Progressive Insurance ha podido lograr un crecimiento sorprendente en una industria de bajo crecimiento.

Fuente: Michael Hammer, "Deep Change: How Operational Innovation Can Transform Your Company", *Harvard Business Review* (abril, 2004), pp. 85-93; **http://www.progressive.com/about-progressive-insurance.aspx**, 2011.

Los temas en este libro le ayudarán a afrontar los retos en las operaciones y lograr la innovación sin importar qué camino elija.

REPASO DE LAS METAS DE APRENDIZAJE

1. **Describir las operaciones y las cadenas de suministro en términos de entradas, procesos, salidas, flujos de información, proveedores y clientes.** Revise en la figura 1.4 la posición de la cadena de suministro y los flujos de información. La sección "Administración de las operaciones y la cadena de suministro en toda la organización", pp. 2-3, muestra cómo se unen las diferentes áreas funcionales de un negocio para crear valor para una empresa.
2. **Definir una estrategia de operaciones y su vínculo con la estrategia corporativa, al igual que el papel que desempeña como fuente de ventaja competitiva en el mercado global.** Vea las secciones "Estrategia de operaciones" y "Estrategia corporativa", pp. 7-10, y revise la figura 1.5.
3. **Identificar nueve prioridades competitivas en la estrategia de operaciones y su vínculo con la estrategia de marketing.** La sección "Prioridades y capacidades competitivas", pp. 11-14, estudia el importante concepto de ganadores y calificadores de orden. Revise en la tabla 1.1 las ilustraciones y ejemplos de cómo las empresas de vanguardia implantaron diferentes prioridades competitivas para crear un posicionamiento único en el mercado.
4. **Explicar cómo las operaciones pueden usarse como arma competitiva.** La sección "Estrategia de operaciones como patrón de decisiones", p. 15, muestra la manera en que las empresas deben identificar diferencias en sus prioridades competitivas y las capacidades reales construidas a través de procesos relacionados y cambios operacionales. Asegúrese de revisar la tabla 1.3 que proporciona un buen ejemplo ilustrativo.
5. **Identificar las tendencias globales y los retos que enfrenta la administración de operaciones.** La sección "Tendencias en la administración de operaciones", pp. 16-20, describe las presiones que encaran los administradores para lograr mejoras en la productividad, junto a los aspectos relacionados con el manejo *de la sustentabilidad y la diversidad en la fuerza de trabajo ante* la competencia global.

MyOMLab le ayuda a desarrollar habilidades analíticas y evalúa su avance con muchos problemas sobre mano de obra y productividad multifactorial.

Recursos de MyOMLab	Títulos	Vínculo con el libro
Video	*Las operaciones como un arma competitiva en Starwood*	Panorama de los procesos; estrategia de operaciones como patrón de decisiones.
Ejercicio de modelo activo	1.1 Productividad	Tendencias en la administración de operaciones, ejemplo 1.1 (pp. 16-17), problema resuelto 1 (p. 24), problema resuelto 2 (pp. 24-25).
Tutores de OM Explorer	1.1 *Medidas de productividad*	*Tendencias en la administración de operaciones*, ejemplo 1.1 (pp. 16-17), problema resuelto 1 (p. 24), problema resuelto 2 (pp. 24-25).
Ejercicios tutores	1.1 Venta de boletos	Ejemplo 1.1 (pp. 16-17), problema resuelto 1 (p. 24), problema resuelto 2 (pp. 24-25).
Tours virtuales	Cosméticos L'Oréal Industrias EDS Servicios EDS	Enfoque de la cadena de suministro, tendencias en la administración de operaciones. Enfoque de procesos, enfoque de cadena de suministro. Enfoque de procesos; enfoque de cadena de suministro.
Ejercicios en Internet	1. Coca-Cola y Nestlé 2. Xerox 3. L'Oréal 4. Entorno, salud y seguridad en Xerox	Enfoque de cadena de suministro, estrategia de operaciones como patrón de decisiones. Enfoque de cadena de suministro, prioridades y capacidades competitivas Tendencias en administración de operaciones
Casos adicionales	BBS, Inc., Pizza Wars llega al campus.	Enfoque de procesos, enfoque de la cadena de suministro, prioridades y capacidades competitivas.
Ecuaciones clave		
Biblioteca de imágenes		

Ecuación clave

1. Productividad es la razón entre salida y la entrada:

$$\text{Productividad} = \frac{\text{salida}}{\text{entrada}}$$

Términos clave

administración de la cadena de suministro 2
administración de operaciones 2
cadena de suministro 2
calidad uniforme 12
calificador de orden 13
capacidades competitivas 11
clientes externos 4
clientes internos 4
competencia basada en el tiempo 11
competencias centrales 9
entrega oportuna 12
estrategia de operaciones 7
flexibilidad de volumen 12
ganador de orden 11
la más alta calidad 12
operación 2
operaciones de bajo costo 12
personalización 12
prioridades competitivas 11
proceso 2
proceso anidado 5
proceso central 7
proceso de apoyo 7
proceso de desarrollo de nuevos servicios/productos 7
proceso de relación con el cliente 7
proceso de relación con el proveedor 7
proceso de satisfacción de órdenes 7
productividad 16
proveedores externos 4
proveedores internos 4
tiempo de entrega 9
variedad 12
velocidad de desarrollo 12
velocidad de entrega 12

Problema resuelto 1

La colegiatura en Boehring University es de $150 por hora-crédito al semestre. El Estado complementa los ingresos con $100 por hora crédito al semestre. El tamaño promedio de un grupo para un curso típico de tres créditos es de 50 estudiantes. Los costos de mano de obra son de $4,000 por clase, el costo de materiales es de $20 por estudiante por clase y los costos generales son de $250 por clase.

a) ¿Cuál es la razón de productividad de *multifactorial* para este proceso de curso?

b) Si los instructores trabajan un promedio de 14 horas por semana durante 16 semanas por cada clase de tres créditos con 50 estudiantes, ¿cuál es la razón de productividad de la *mano de obra*?

SOLUCIÓN

a) La productividad multifactorial es la razón entre el valor de la salida y el valor de los recursos de entrada.

$$\text{Valor de la salida} = \left(\frac{50 \text{ estudiantes}}{\text{clase}}\right)\left(\frac{3 \text{ horas crédito}}{\text{estudiantes}}\right)\left(\frac{\$150 \text{ colegiatura} + \$100 \text{ apoyo del estado}}{\text{hora-crédito}}\right)$$

$$= \$37{,}500/\text{clase}$$

$$\text{Valor de la entrada} = \text{mano de obra} + \text{materiales} + \text{generales}$$
$$= \$4{,}000 + (\$20/\text{estudiante} \times 50 \text{ estudiantes/clase}) + \$25{,}000$$
$$= \$30{,}000 \text{ / clase}$$

$$\text{Productividad multifactorial} = \frac{\text{salida}}{\text{entrada}} = \frac{\$37{,}500/\text{clase}}{\$30{,}000/\text{clase}} = 1.25$$

b) La productividad de la mano de obra es la razón entre el valor de la salida y las horas de mano de obra. El valor de la salida es el mismo que en el inciso *a)*, o $37,500/clase, de manera que

$$\text{Horas de mano de obra entrada} = \frac{14 \text{ horas}}{\text{semanal}} \quad \frac{6 \text{ semanas}}{\text{clase}} = 224 \text{ horas/clase}$$

$$\text{Productividad de la mano de obra} = \frac{\text{salida}}{\text{entrada}} = \frac{\$37{,}500/\text{clase}}{224 \text{ horas/clase}}$$
$$= \$167.41/\text{horas}$$

Problema resuelto 2

Natalie Attire confecciona prendas de moda. Durante una semana en particular, los empleados trabajaron 360 horas para producir un lote de 132 prendas, de las cuales 52 fueron "segundas" (es decir, tenían defectos). Las segundas se venden en $90 cada una en las tiendas de fábrica de Attire. Las 80 prendas restantes se venden a tiendas en $200 cada una. ¿Cuál es la productividad de la *mano de obra* de este proceso de manufactura?

SOLUCIÓN

$$\text{Valor de la salida} = (52 \text{ defectuosas} \times 90/\text{defectuosas}) + (80 \text{ prendas} \times 200/\text{prenda})$$
$$= \$20{,}680$$

$$\text{Horas de mano de obra de la salida} = 360 \text{ horas}$$

$$\text{Productividad de la mano de obra} = \frac{\text{salida}}{\text{entrada}} = \frac{\$20{,}680}{360 \text{ horas}}$$
$$= \$57.44 \text{ en ventas por hora}$$

Preguntas para análisis

1. Considere su último trabajo (o el actual).
   a) ¿Cuáles son las actividades que realiza?
   b) ¿Quiénes son sus clientes (internos y externos) y cómo interactúa con ellos?
   c) ¿Cómo puede medir el valor para el cliente que usted agrega al realizar sus actividades?
   d) ¿Su puesto está en contabilidad, finanzas, recursos humanos, administración de sistemas de información, marketing, operaciones u otro? Explique.
2. Considere a amazon.com, cuyo sitio web goza de millones de "visitas" cada día y pone a los clientes en contacto con millones de servicios y productos. ¿Cuáles son las prioridades competitivas de amazon.com y en qué debe enfocarse su estrategia de operaciones?
3. Un hospital local declara que está comprometido con proporcionar *cuidado* a los pacientes que lleguen a la unidad de urgencias en menos de 15 minutos y que nunca dejará de recibir a pacientes que necesiten hospitalización para cuidados médicos mayores. ¿Cuáles son las implicaciones que este compromiso tiene con las decisiones estratégicas de la administración de operaciones (esto es, decisiones relacionadas con la capacidad y la fuerza de trabajo)?
4. FedEx construye su negocio sobre la entrega rápida y confiable de artículos que se envían por aire o tierra de un destino a otro. Sus primeras ventajas incluían el rastreo global de envíos usando la tecnología de Internet. Pero, posteriormente, el avance de la tecnología de Internet permitió a los competidores ofrecer un rastreo de órdenes más sofisticado. Además, el advenimiento de los negocios basados en Internet puso presión en el incremento de las entregas transportadas por tierra. Explique cómo afecta este cambio en el entorno a la estrategia de operaciones de FedEx, en especial en lo que se refiere a UPS, que tiene una posición fuerte en el negocio de entrega de negocio a consumidor por tierra.
5. Suponga que está realizando un análisis de mercado para un libro de texto nuevo, cuyo tema es la administración de la tecnología. ¿Qué necesitaría saber para identificar un segmento de mercado? ¿Cómo haría una evaluación de necesidades? ¿Cuál debe ser la colección de servicios y productos?
6. Aunque las nueve prioridades competitivas analizadas en este capítulo son relevantes para el éxito de una compañía en el mercado, explique por qué una empresa no debe necesariamente intentar sobresalir entre todas. ¿Qué determina la elección de las prioridades competitivas que debe resaltar una compañía para sus procesos clave?
7. Elegir qué procesos son centrales para la posición competitiva de una empresa es una decisión estratégica clave. Por ejemplo, Nike, una conocida compañía de zapatos deportivos, se centra en la relación con el cliente, el desarrollo de nuevos productos y los procesos de relación con el proveedor, y deja el proceso de satisfacción de órdenes a otros. Allen Edmonds, una compañía de zapatos de alta calidad, considera que los cuatro procesos son centrales. ¿Qué observaciones haría para determinar qué procesos deben ser centrales en su compañía de manufactura?
8. Un restaurante de comida rápida local procesa varias órdenes de clientes al mismo tiempo. Los empleados de servicio se estorban unos a otros; algunas veces casi chocan, mientras tratan de completar las órdenes de los clientes. Si los clientes ordenan una combinación especial de ingredientes en sus hamburguesas, deben esperar mucho tiempo para que se cocine esa orden. ¿Cómo modificaría las operaciones del restaurante para lograr una ventaja competitiva? Como la demanda tiene un pico a la hora del almuerzo, la flexibilidad de volumen es una prioridad competitiva en el negocio de comida rápida. ¿Cómo lograría la flexibilidad en el volumen?
9. Kathryn Shoemaker estableció el restaurante Grandmother's Chicken, en Middlesburg, hace cinco años. Tiene una receta única para el pollo, "justo como lo hacía la abuela". La instalación es acogedora, con un servicio relajado y amistoso. El negocio ha sido bueno los dos últimos años tanto para el almuerzo como para la cena. Los clientes normalmente esperan cerca de 15 minutos para que les sirvan, aunque las quejas sobre retrasos en el servicio han aumentado recientemente. Shoemaker está considerando expandir la instalación actual o abrir un restaurante similar en el pueblo vecino de Uniontown que ha crecido con rapidez.
   a) ¿Qué tipo de planes estratégicos debe hacer Shoemaker?
   b) ¿Qué fuerzas ambientales pueden estar operando en Middlesburg y Uniontown que Shoemaker debe considerar?
   c) ¿Cuáles son las posibles competencias distintivas de Grandmother's Chicken?
10. Wild West, Inc. es una compañía telefónica regional que heredó cerca de 100,000 empleados y 50,000 retirados de AT&T. Wild West tiene una nueva misión: diversificarse. Se trata de un esfuerzo de 10 años para entrar a los servicios financieros, bienes raíces, TV por cable, compras desde el hogar, entretenimiento y el mercado de servicios de comunicación celular, y para competir con otras compañías telefónicas. Wild West planea proporcionar servicios de comunicación celular y de fibra óptica en mercados con competidores establecidos, como el Reino Unido, y en mercados en esencia sin competencia, como Rusia y los países que antes eran del bloque oriental.
   a) ¿Qué tipos de planes estratégicos debe hacer Wild West? ¿Es el "no hacer nada" opción viable? Si la misión de Wild West parece demasiado amplia, qué empresas recortaría en primer lugar?
   b) ¿Qué fuerzas ambientales Wild West debe considerar?
   c) ¿Cuáles son las posibles competencias centrales de Wild West? ¿Qué debilidades debe evitar o mitigar?

11. Usted está diseñando un negocio de entrega de abarrotes. A través de Internet, su compañía ofrecerá alimentos básicos y congelados en un área metropolitana grande y luego los entregará dentro de una ventana de tiempo fijada por el cliente. Usted planea trabajar en sociedad con dos tiendas de alimentos importantes. ¿Cuáles deben ser sus prioridades competitivas y cuáles capacidades desea desarrollar para sus procesos centrales y de apoyo?

Problemas

El OM Explorer y POM para Windows están disponibles para todos los estudiantes de la décima edición de este libro. Vaya a **www.pearsonhighered.com/krajewski** para bajar estos paquetes de computadora. Si compró MyOMLab, también tiene acceso al *Software* de modelos activos y mucha ayuda para resolver los problemas siguientes. Verifique con su instructor la mejor manera de usar estos recursos. En muchos casos, el instructor le pedirá que comprenda cómo se hacen los cálculos a mano. Por lo menos, el *Software* proporciona una verificación de sus cálculos. Cuando los cálculos son muy complejos y la meta es interpretar los resultados al tomar una decisión, el *Software* sustituye por completo los cálculos manuales.

1. (Se refiere al problema resuelto 1). El entrenador Bjourn Toulouse llevó a los Big Red Herrings a varias temporadas de futbol americano decepcionantes. Solo un mejor reclutamiento regresará a los Big Red Herrings al nivel de ganadores. Debido al estado actual del programa, es poco probable que los fans de Boehring University apoyen un incremento en el precio de $192 por boleto para la temporada. Un reclutamiento mejor aumentaría los costos generales de los $25,000 actuales a $30,000 por sección en cualquier clase. El plan de presupuesto de la universidad es cubrir los costos de reclutamiento aumentando el tamaño promedio de los grupos a 75 estudiantes. Los costos de mano de obra aumentarían a $6500 por curso de tres créditos. La colegiatura sería de $200 por crédito semestral, complementado por los $100 de apoyo estatal por crédito semestral.

a) ¿Cuál es la razón de productividad multifactorial? Compare con el resultado obtenido en el problema resuelto 1, ¿aumentó o disminuyó la productividad para el proceso de cursos?

b) Si los instructores trabajan un promedio de 20 horas por semana, 16 semanas por cada clase de tres créditos con 75 estudiantes, ¿cuál es la razón de productividad de *mano de obra*?

2. La lavandería Suds y Duds lavó y planchó las siguientes cantidades de camisas de vestir por semana.

Semana	Brigada de trabajo	Horas totales	Camisas
1	Sud y Dud	24	68
2	Sud y Dud	46	130
3	Sud, Dud y Jud	62	152
4	Sud, Dud y Jud	51	125
5	Dud y Jud	45	131

a) Calcule la razón de productividad de la *mano de obra.*

b) Explique el patrón de productividad de la mano de obra que exhiben los datos.

3. Los reproductores de CD se producen en un proceso de línea de ensamble automatizada. El costo estándar de los reproductores es de $150 por unidad (mano de obra: $30, materiales: $70, y costos generales: $50). El precio de venta es de $300.

a) Para lograr una mejora de 10% en la productividad multifactorial solo reduciendo los costos de materiales, ¿en qué porcentaje deben reducirse estos costos?

b) Para lograr una mejora de 10% en la productividad multifactorial solo reduciendo los costos de mano de obra, ¿en qué porcentaje deben reducirse estos costos?

c) Para lograr una mejora de 10% en la productividad de multifactorial solo reduciendo los costos generales, ¿en qué porcentaje deben reducirse estos costos?

4. La salida de un proceso se valora en 100 por unidad. El costo de mano de obra es $50 por hora, incluyendo prestaciones. El departamento de contabilidad proporcionó la siguiente información respecto a los procesos durante las últimas cuatro semanas:

	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Unidades producidas	1,124	1,310	1,092	981
Mano de obra ($)	12,735	14,842	10,603	9,526
Materiales ($)	21,041	24,523	20,442	18,364
Generales ($)	8,992	10,480	8,736	7,848

a) Utilice la razón de productividad multifactorial para ver si las mejoras recientes al proceso han tenido algún efecto y, si es así, cuándo se hizo notorio el efecto.

b) ¿Ha cambiado la productividad de la mano de obra? Use la razón de productividad de la mano de obra para apoyar su respuesta.

5. Pasteles Alyssa actualmente vende cinco pasteles de cumpleaños, dos de boda y tres especiales cada mes por $50, $150 y $100 cada uno, respectivamente. El costo de la mano de obra es $50 por hora, incluyendo prestaciones. Toma 90 minutos producir un pastel de cumpleaños, 240 minutos elaborar uno de boda y 60 minutos uno especial. La razón actual de productividad de multifactorial de Alyssa es 1.25.

a) Utilice la razón de productividad de multifactorial para calcular el costo promedio de los pasteles producidos.

b) Calcule, en dólares, la razón de productividad de la mano de obra en Alyssa por hora para cada tipo de pastel.

c) Con base solo en la razón de productividad de la mano de obra, ¿cuál pastel debe Alyssa tratar de vender más?

d) Según su respuesta al inciso *a)*, ¿hay un tipo de pastel que Alyssa deba dejar de vender?

Problemas avanzados

6. La Big Black Bird Company (BBBC) tiene una orden grande de uniformes militares, forrados de plástico, para usarse en una operación militar urgente. Trabajando los dos turnos normales de 40 horas por semana cada uno, el proceso de producción de BBBC da como resultado 2,500 uniformes por semana a un costo estándar de $120 cada uno. En el primer turno trabajan 70 empleados y en el segundo, 30. El precio contratado es $200 por uniforme. Debido a la urgencia, BBBC está autorizado a utilizar las 24 horas de producción, seis días de la semana. Cuando cada uno de los dos turnos trabaja 72 horas por semana, la producción aumenta a 4,000 uniformes por semana, pero a un costo de $144 cada uno.

a) ¿Aumenta, disminuye o sigue igual la razón de productividad multifactorial? Si cambia, ¿en qué porcentaje lo hace?

b) ¿Aumenta, disminuye o sigue igual la razón de productividad de la mano de obra? Si cambia, ¿en qué porcentaje lo hace?

c) ¿Aumentan, disminuyen o se mantienen igual las ganancias semanales?

7. El taller de fabricación de guitarras Mack produce guitarras, para principiantes, de bajo costo y altamente durables. Lo normal es que de las 100 guitarras producidas cada mes, solo 80% se consideran buenas para vender. El otro 20% se destruye debido a problemas de calidad que se identifican una vez terminado el proceso de producción. Cada guitarra se vende en $250. Como parte del proceso de producción está automatizado, cada guitarra requiere solo 10 horas de mano de obra. Cada empleado trabaja 160 horas al mes. La mano de obra se paga a $10/hora, el costo de materiales es $40/guitarra y los gastos generales son $4,000.

a) Calcule las razones de productividad multifactorial y de mano de obra.

b) Después de un estudio, el administrador de operaciones, Darren Funk, recomienda tres opciones para mejorar la productividad de multifactorial de la compañía: **1.** aumentar 10% el precio de venta, **2.** mejorar la calidad para que haya solo 10% de guitarras defectuosas o **3.** reducir 10% los costos de mano de obra, materiales y generales. ¿Qué opción tiene el mayor impacto en la medida de productividad multifactorial?

8. Mariah Enterprises hace una variedad de productos electrónicos para el consumidor. Su planta de fabricación de cámaras está considerando elegir entre dos procesos diferentes, llamados Alfa y Beta, que se pueden usar para hacer una componente. Para tomar la decisión correcta, los administradores desean comparar la productividad multifactorial y de mano de obra de los procesos Alfa y Beta. El valor de las salidas de los procesos Alfa y Beta es $175 y $140 por unidad, los costos generales correspondientes son $6,000 y $5,000, respectivamente.

	Proceso Alfa		Proceso Beta	
Producto	**A**	**B**	**A**	**B**
Salida (unidades)	50	60	30	80
Mano de obra ($)	$1,200	$1,400	$1,000	$2,000
Material ($)	$2,500	$3,000	$1,400	$3,500

a) ¿Cuál proceso, Alfa o Beta, es más productivo?

b) ¿Qué conclusión puede obtener de su análisis?

9. La Cafetería Morning Brew vende mezclas de café normal, capuchino y vienés. El costo de mano de obra actual diario de la tienda es $320, el costo del equipo es $125 y los costos generales son $225. Las demandas diarias, los precios de venta y el costo de material por bebida se dan en la siguiente tabla.

	Café normal	Capuchino	Café vienés
Bebidas vendidas	350	100	150
Precio por bebida	$2.00	$3.00	$4.00
Material ($)	$0.50	$0.75	$1.25

Harald Luckerbauer, el gerente de la cafetería Morning Brew, desea entender cómo se alteraría la productividad de la tienda si agrega Eiskaffee (una bebida alemana de café helado, leche, endulzante y helado de vainilla) al menú. Su estudio de mercado muestra que Eiskaffee traería nuevos clientes y no competiría con la demanda actual. En el supuesto de que el nuevo equipo se comprara antes de agregar Eiskaffee al menú, Harald ya tendría que haber calculado una nueva demanda diaria y proyecciones de costos. El nuevo equipo cuesta $200 y los costos generales son $350. Modifique las demandas diarias, al igual que los precios de venta y costos por bebida para la nueva línea de producción que se verá enseguida.

	Café normal	Capuchino	Café vienés	Eiskaffee
Bebidas vendidas	350	100	150	75
Precio por bebida	$2.00	$3.00	$4.00	$5.00
Material ($)	$0.50	$0.75	$1.25	$1.50

a) Calcule el cambio en la productividad de la mano de obra y la productividad multifactorial si se agrega Eiskaffee al menú.

b) Si todo lo demás permanece sin cambio, ¿cuántas unidades de Eiskaffee deberán venderse para asegurar que la productividad de multifactorial aumente su nivel actual?

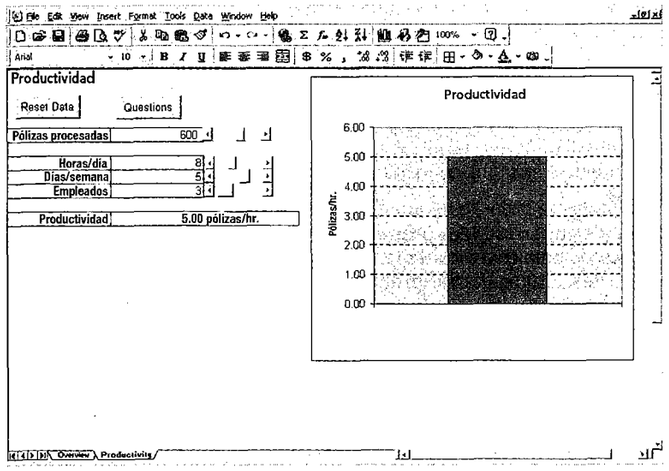
Ejercicio de modelo activo

Este modelo activo aparece en MyOMLab. Le permite evaluar los elementos importantes de la productividad de la mano de obra.

PREGUNTAS

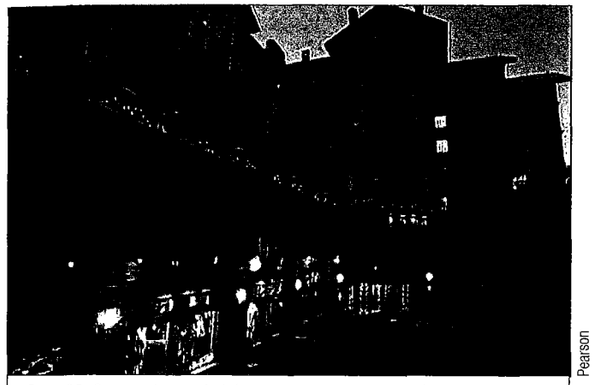
1. Si la compañía de seguros puede procesar 60 pólizas (10%) más por semana, ¿en qué porcentaje se eleva la medida de productividad?
2. Suponga que la jornada de ocho horas incluye un almuerzo de 45 minutos. ¿Cuál es la medida de productividad revisada, excluyendo el almuerzo?
3. Si se contrata a un empleado, ¿cuál será el número de pólizas procesadas por semana si se mantiene la productividad de cinco pólizas por hora?
4. Suponga que durante el verano la compañía trabajó solo cuatro días a la semana. ¿Cuál será el número semanal de pólizas procesadas si se mantiene la productividad de cinco pólizas por hora?

▶ **MODELO ACTIVO 1.1**
Productividad de la mano de obra usando los datos del ejemplo 1.1



CASO EN VIDEO Las operaciones como arma competitiva en Starwood

Starwood es una de las compañías hoteleras más grandes del mundo, con más de 750 propiedades, administra y franquicia propiedades en más de 80 países. Las marcas de hospedaje de la compañía incluyen The Luxury Collection, St. Regis, Sheraton, Westin, Four Points y W Hotels. Sus hoteles aparecen, normalmente, en las listas de los mejores hoteles alrededor del mundo. En una noche, los huéspedes pueden ser viajeros por descanso, de negocios independientes o parte de un congreso o una convención.



En 2002, Starwood estandarizó sus procesos de operaciones para poder medir, mejorar y, en último caso, hacer crecer su negocio de convenciones. Cada convención se asigna a un Conserje de Congresos Star, quien trabaja de cerca con los planeadores del evento.

Cuando los huéspedes se alojan en una propiedad Starwood como parte de una convención o congreso, los arreglos suele hacerlos un planeador de congresos. Esta persona trabaja con una localización para programar las instalaciones, las salas de banquetes, el hospedaje y los eventos de los participantes. Antes de 2002, las propiedades individuales de la compañía tenían sus propios enfoques para la planeación de convenciones. Aunque no congruente, el programa coordinado dentro de la marca y con otras, facilitaba a los planeadores de congresos el negocio con Starwood. Por ejemplo, la documentación para confirmar los detalles del programa, las habitaciones y los requerimientos de comida y bebida diferían entre propiedades y marcas. Algunos hoteles tenían diagramas de los espacios de reunión, mientras que otros no. La tecnología disponible para los salones de conferencia variaba mucho y no siempre se disponía de una liga entre hoteles en caso de ser necesaria.

Al reconocer que el crecimiento y éxito futuros de Starwood dependían altamente de sus relaciones con los planeadores de congresos, la compañía convocó a grupos de enfoque para reunir información acerca de sus necesidades y expectativas. Surgió una prioridad clara: coherencia en el proceso de planeación de congresos, ya fuera que se realizara en el Sheraton de Nueva York, el Westin Kierlan de Phoenix o el W Hotel de Lakeshore de Chicago. Un programa así podía crear congruencia entre las marcas y generar lealtad y mayores ingresos provenientes de los planeadores de congresos que manejan grandes volúmenes anuales de eventos en las propiedades de Starwood.

Como resultado de las reuniones, Starwood creó el programa Planeador Preferente de Starwood. Cada hotel ahora tiene la misma documentación para el proceso de planeación y comparte los documentos de manera electrónica en todas las propiedades y marcas. Los contratos se estandarizaron y se crearon nuevos parámetros para reconocer y compensar a los planeadores de congresos VIP frecuentes. Cada congreso se asigna a un "conserje de congresos Star", cuya única responsabilidad es anticipar y satisfacer las necesidades del planeador de congresos durante el evento. Ahora se proporcionan teléfonos-radio Nextel a la llegada de los planeadores, sin costo adicional, para que tengan acceso al conserje las 24 horas.

Para medir el desempeño de los nuevos procesos, Starwood establece metas internas altas para las calificaciones de las encuestas dadas a los planeadores después de concluidos sus eventos. Por ejemplo, en las marcas Luxury Collection y St. Regis, las calificaciones individuales deben ser de 4.55 en una escala de cinco puntos. En los Westin y W Hotels, las calificaciones deben ser de 4.35 en la misma escala. Las calificaciones en las propiedades de Sheraton deben exceder 4.30 y los Four Points deben tener una meta de 4.25 en la escala de cinco puntos. Debido a que las expectativas para una reunión de un día en un hotel cercano a un aeropuerto (no realizada por St. Regis o Luxury Collection) difieren de una experiencia de varios días en un *resort*, las metas reflejan esas expectativas.

PREGUNTAS

1. ¿Cuáles son las entradas y salidas asociadas con el nuevo proceso de planeación de congresos de Starwood?
2. ¿Cómo interactúa el proceso de planeación de congresos de Starwood con los siguientes procesos centrales en sus hoteles?
   a) Relación con el cliente (interno y externo).
   b) Desarrollo de un nuevo servicio o producto.
   c) Satisfacción de órdenes.
   d) Relación con los proveedores.

CASO Chad's Creative Concepts

Chad's Creative Concepts diseña y fabrica muebles de madera. Fundada por Chad Thomas en los bancos del lago Eire en Sandusky, Ohio, la compañía comenzó produciendo muebles de madera a la medida para las cabañas de vacaciones localizadas en la costa del lago Erie y en las islas cercanas a Kelly y Bass. Siendo un tipo al que le gusta el "aire libre", Thomas quería traer un poco de ese "aire libre" al interior. La compañía de Chad desarrolló una reputación sólida para sus diseños creativos y la alta calidad del trabajo manual. Con el tiempo, las ventas englobaron a toda la región de los grandes lagos. Junto con el crecimiento llegaron oportunidades adicionales.

Por tradición, la compañía se enfocó por completo en los muebles a la medida, donde el cliente especificaba el tipo de madera de la que se haría la pieza. Al crecer la reputación y las ventas de la compañía, la fuerza de ventas comenzó a vender algunas de las piezas más populares a las mueblerías. Este movimiento hacia las tiendas llevó a Chad's Creative Concepts a la producción más estándar de muebles. Los compradores de esta línea eran mucho más sensibles al precio e imponían requerimientos de entrega más rigurosos que los clientes de la línea hecha a la medida. Sin embargo, los muebles con diseños personalizados continúan dominando las ventas y representan 60% del volumen y 75% del valor en dólares. En la actualidad, la compañía opera un solo proceso de manufactura en Sandusky, donde se fabrican los muebles estándar y a la medida. El equipo es principalmente de propósito general para proporcionar la flexibilidad necesaria para producir las piezas personalizadas. La distribución de la planta pone las sierras en una sección, los tornos en otra, etc. La calidad del producto terminado refleja la

calidad de la madera elegida y la habilidad artesanal de los trabajadores. Los dos tipos de muebles, personalizados y estándar, compiten por tiempo de procesamiento en los mismos equipos con las mismas personas.

Durante los meses recientes, las ventas de la línea estándar han aumentado, llevando a una programación más definida de esta línea de productos. No obstante, cuando tienen que hacerse trueques o intercambios programados, los muebles a la medida siempre tienen prioridad debido a sus mayores ventas y márgenes de ganancia más altos. Por tanto, los lotes programados de piezas estándar esperan en la planta en diferentes etapas de terminación.

Cuando revisa el progreso de Chad's Creative Concepts, Thomas está contento de ver que la compañía ha crecido. Las ventas de los muebles a la medida siguen sólidas y las ventas de piezas estándar se incrementan de manera estable. Pero las finanzas y la contabilidad indican que las ganancias no son lo que deberían ser. Los costos asociados con la línea estándar se están elevando. Hay dinero comprometido en inventario tanto de materia prima como de trabajo en proceso. Debe rentarse un almacén costoso para alojar el volumen de inventario. Thomas también está preocupado por el incremento en los tiempos de entrega para los dos tipos de órdenes, que están ocasionando tiempos de entrega más largos. La capacidad está al límite y no hay espacio en la planta para una expansión. Thomas comienza a evaluar con cuidado el impacto global de la nueva línea estándar sobre el proceso de manufactura.

PREGUNTAS

1. ¿Qué tipo de decisiones debe tomar Chad Thomas todos los días para que las operaciones de su compañía funcionen con efectividad? ¿Y en el largo plazo?
2. ¿Cómo afectaron ventas y marketing a las operaciones cuando comenzaron a vender piezas estándar a las mueblerías?
3. ¿Cómo afectó la decisión de producir muebles estándar a la estructura financiera de la compañía?
4. ¿Qué pudo haber hecho diferente Chad Thomas para evitar algunos de los problemas que ahora enfrenta?

Fuente: Este caso fue preparado por el doctor Brooke Saladin, Wake Forest University, como base para discusión en clase. Copyright © Brooke Saladin. Utilizado con permiso.

Referencias seleccionadas

Chase, Richard B. y Uday M. Apte. "A History of Research in Service Operations: What's the Big Idea?" *Journal of Operations Management*, vol. 25, núm. 2 (2007), pp. 375-386.

Collis, David J. y Michael G. Rukstad. "Can you say What Your Strategy Is?" *Harvard Business Review*, vol. 86, núm. 4 (2008), pp. 82-90.

Fitzsimmons, James A. y Mona Fitzsimmons. *Service Management*. Nueva York: McGraw-Hill, 2005.

Gaimon, Cheryl. "The Management of Technology: A Production and Operations Management Perspective". *Production and Operations Management*, vol. 17, núm.1 (2008), pp. 1-11.

Hammer, Michael. "Deep Change: How Operational Innovation Can Transform Your Company". *Harvard Business Review* (abril 2004), pp. 85-93.

Heineke, Janelle y Mark Davis. "The Emergence of Service Operations as an Academic Discipline". *Journal of Operations Management*, vol. 25, núm. 2 (2007), pp. 364-374.

Hill, Terry. *Manufacturing Strategy: Text and Cases*, 3a ed. Homewood, IL: Irwin/McGraw-Hill, 2000.

Huckman, Robert S. y Darren E. Zinner. "Does Focus Improve Operational Performance? Lessons from the Management of Clinical Trials". *Strategic Management Journal*, vol. 29 (2008), pp. 173-193.

Karmarkar, Uday. "Will You Survive the Services Revolution?" *Harvard Business Review*, vol. 82 (2004), pp. 100-108.

Kaplan, Robert S. y David P. Norton. *Balanced Scoreboard*. Boston, MA: Harvard Business School Press, 1997.

King Jr., Neil. "A Whole New World". *Wall Street Journal* (27 de septiembre, 2004) .

Meyer, Christopher y Andre Schwager. "Understanding customer experiènce." *Harvard Business Review*, vol. 85 (2007), pp. 116-126.

Neilson, Gary L., Karla L. Martin y Elizabeth Powers. "The secrets to successful strategy execution". *Harvard Business Review*, vol. 86, núm. 6 (2008), pp. 60-70.

Pande, Peter S., Robert P. Neuman y Roland R. Cavanagh. *The Six Sigma Way*. Nueva York: McGraw-Hill, 2000.

Porter, Michael. *Competitive Advantage*. Nueva York: The Free Press, 1987.

Porter, Michael E. y Mark R. Kramer. "Strategy and Society: The Link Between Competitive Advantage and Corporate Social Responsibility". *Harvard Business Review*, vol. 84, núm. 12 (2006), pp. 78-92.

Powell, Bill. "It's All Made in China Now". *Fortune* (4 de marzo, 2002), pp. 121-128.

Safizadeh, M. Hossein, Larry P. Ritzman, Deven Sharma y Craig Wood. "An Empirical Analysis of the Product-Process Matrix". *Management Science*, vol. 42, núm. 11 (1996), pp. 1576-1591.

Skinner, Wickham. "Manufacturing—Missing Link in Corporate Strategy". *Harvard Business Review* (mayo-junio, 1969), pp. 136-145.

Svensson, Peter. "GameStop to Sell Rain Checks for Wii". *The State* (18 de diciembre, 2007).

Voss, Chris, Aleda Roth y Richard Chase. "Experience, Service Operations Strategy, and Services as Destinations: Foundations and Exploratory Investigation". *Production and Operations Management*, vol. 17, núm. 3 (2008), pp. 247-266.

Ward, Peter T. y Rebecca Duray. "Manufacturing Strategy in Context: Environment, Competitive Strategy and Manufacturing Strategy". *Journal of Operations Management*, vol. 18 (2000), pp. 123-138.

Wiseman, Paul. "Despite China's might, us factories maintain edge". *The State* and *The Associated Press* (31 de enero, 2011).

Womack, James P., Daniel T. Jones y Daniel Roos. *The Machine That Changed the World*. Nueva York: Harper Perennial, 1991.

SUPLEMENTO

A

TOMA DE DECISIONES

Los administradores de operaciones toman decisiones cuando manejan los procesos y las cadenas de suministros. Aunque las características de cada situación varían, la toma de decisiones involucra los mismos pasos básicos: **1.** reconocer y definir claramente el problema, **2.** reunir la información necesària para analizar las alternativas posibles y **3.** elegir e implantar la alternativa más factible.

En ocasiones, tan solo sentarse a pensar es suficiente. En otras, es necesario interactuar con otros o usar procedimientos más formales. Presentamos cuatro de esos procedimientos formales: análisis de punto y equilibrio, matriz de preferencias, teoría de decisiones y árbol de decisiones.

- El análisis de punto de equilibrio ayuda al administrador a identificar qué cantidad de cambio en volumen o demanda es necesaria antes de que una segunda alternativa se vuelva mejor que la primera.
- La matriz de preferencias apoya al administrador en el manejo de varios criterios que no se pueden evaluar con una sola medida de mérito, como la ganancia o el costo total.
- La teoría de decisiones ayuda al administrador a elegir la mejor alternativa cuando los resultados son inciertos.
- Un árbol de decisiones sirve al administrador cuando toma decisiones secuenciales: la mejor decisión de hoy depende de las decisiones y los eventos de mañana.

Análisis de punto de equilibrio

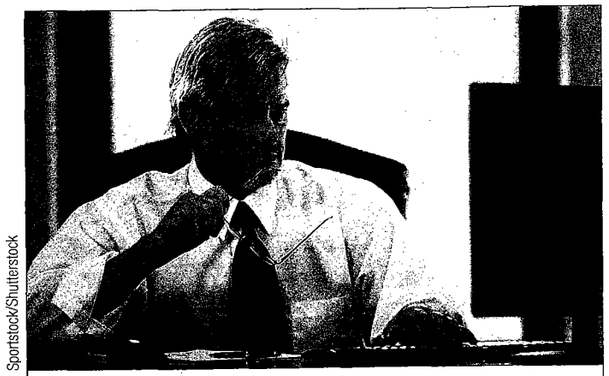
Para evaluar una idea de un nuevo servicio o producto, o para valorar el desempeño de uno existente, es útil determinar el volumen de ventas para el cual el servicio o producto queda a mano. La **cantidad en el punto de equilibrio** es el volumen para el cual los ingresos totales son iguales a los costos totales. La utilización de esta técnica se conoce como **análisis de punto de equilibrio**. El análisis de punto de equilibrio también se puede usar para comparar procesos encontrando el volumen en el que dos procesos diferentes tienen costos totales iguales.

cantidad en el punto de equilibrio
Es el volumen para el cual los ingresos totales son iguales a los costos totales.

análisis de punto de equilibrio
Utilización de la cantidad en el punto de equilibrio; se utilizan para comparar procesos encontrando el volumen en el que dos procesos diferentes tienen costos totales iguales.

METAS DE APRENDIZAJE *Después de estudiar este capítulo, usted será capaz de:*

1. Explicar el análisis de punto de equilibrio usando ambos enfoques, gráfico y algebraico.
2. Definir la matriz de preferencias.
3. Explicar cómo se construye una tabla de pagos.
4. Identificar las reglas de decisión maximin, maximax, Laplace, arrepentimiento minimax y el valor esperado.
5. Describir cómo se dibuja y analiza un árbol de decisiones.



Sportstock/Shutterstock

Un administrador piensa concentrado y analiza en su computadora antes de llegar a una decisión final.

Evaluación de servicios o productos

Comenzamos con el primer propósito: evaluar la ganancia potencial de un servicio o producto nuevo o existente. Esta técnica apoya al administrador al responder a preguntas como las siguientes:

- El volumen pronosticado de ventas del servicio o producto, ¿es suficiente para quedar "a mano" (no tener una ganancia ni experimentar una pérdida)?
- ¿Cuánto debe bajar el costo variable por unidad para estar en el punto de equilibrio, según los precios actuales y los pronósticos de ventas?
- ¿Cuánto deben bajar los costos fijos para salir sin ganar ni perder"?
- ¿Cómo afectan los niveles de precios al volumen de equilibrio?

El análisis de punto de equilibrio se basa en la suposición de que todos los costos relacionados con la producción de un servicio o producto específico se puede dividir en dos categorías: **1.** costos variables y **2.** costos fijos.

costo variable
Porción del costo total que varía con el volumen de salida.

costo fijo
Porción del costo total que permanece constante aunque haya cambios en los niveles de salida.

El **costo variable**, c, es la parte del costo total que varía directamente con el volumen de salida: costo por unidad de material, mano de obra y usualmente una fracción de los costos generales. Si Q es igual al número de clientes atendidos o de unidades producidas al año, el costo variable total = cQ. El **costo fijo**, F, es la parte del costo total que permanece constante sin depender de los cambios en los niveles de salida: el costo anual de rentar o comprar nuevos equipos e instalaciones (que incluyen depreciación, interés, impuestos y seguros); los salarios; las utilidades y parte del presupuesto de ventas o de publicidad. Entonces, el costo total de producir un servicio o bien es igual a los costos fijos más los costos variables multiplicados por el volumen, es decir,

$$\text{Costo total} = F + cQ$$

Se supone que el costo variable por unidad es el mismo para Q pequeña o grande y, por tanto, el costo total es lineal. Si suponemos que todas las unidades producidas se venden, el ingreso total anual es igual al ingreso por unidad vendida, p, multiplicado por la cantidad vendida, o sea,

$$\text{Ingreso total} = pQ$$

Si igualamos el ingreso total y el costo total, obtenemos el punto de equilibrio como:

$$pQ = F + cQ$$

$$(p - c)Q = F$$

$$Q = \frac{F}{p - c}$$

También podemos encontrar esta cantidad para el punto de equilibrio en una gráfica. Como tanto los costos como los ingresos son relaciones lineales, la cantidad del punto de equilibrio está donde la línea de ingresos totales cruza la línea de costos totales.

EJEMPLO A.1 Para encontrar la cantidad del punto de equilibrio

MyOMLab
El *modelo activo* A.1 en MyOMLab proporciona una visión adicional de este ejemplo de punto de equilibrio y sus extensiones con cuatro preguntas de "qué pasa si".

MyOMLab
El tutor A.1 en MyOMLab proporciona un ejemplo nuevo para practicar el análisis de punto de equilibrio.

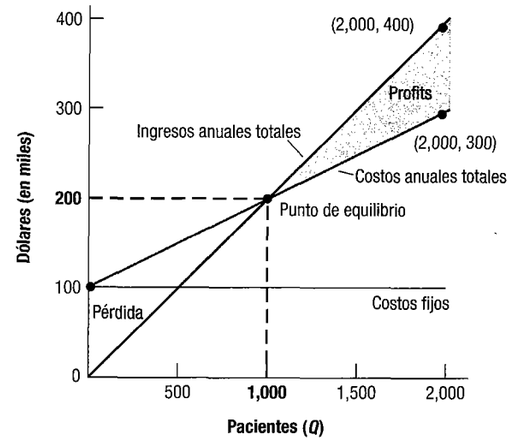
Un hospital está estudiando un nuevo procedimiento que se ofrecerá en $200 por paciente. El costo fijo por año sería $100,000, con costos variables totales de $100 por paciente. ¿Cuál es el punto de equilibrio para este servicio? *Utilice ambos enfoques, gráfico y algebraico, para obtener la respuesta.*

SOLUCIÓN
La fórmula para el punto de equilibrio da:

$$Q = \frac{F}{p - c} = \frac{100{,}000}{200 - 100} = 1{,}000 \text{ pacientes}$$

Para resolverlo con una gráfica, trazamos dos líneas, una para costos y otra para ingresos. Dos puntos determinan una recta, de manera que comenzamos por calcular los costos y los ingresos para los niveles diferentes de salida. La siguiente tabla muestra los resultados para Q = 0 y Q = 2,000. Seleccionamos cero como primer punto por la facilidad para graficar el ingreso total (0) y el costo total (F). Sin embargo, pudimos usar cualquiera de los dos niveles de salida con un espaciamiento razonable.

Cantidad (pacientes) (Q)	Costo anual total ($) (100,000 + 100 Q)	Ingreso anual total ($) (200 Q)
0	100,000	0
2,000	300,000	400,000



◀ **FIGURA A.1**
Enfoque gráfico para el análisis de punto de equilibrio

Ahora podemos dibujar la línea de costo por los puntos (0, 100,000) y (2,000, 300,000). La línea de ingreso pasa por (0, 0) y (2,000, 400,000). Como lo indica la figura, la intersección de estas dos líneas está en 1,000 pacientes, es decir, el punto de equilibrio.

PUNTO DE DECISIÓN
La administración espera que el número de pacientes que necesitan el nuevo procedimiento exceda el punto de equilibrio de 1,000 pacientes, pero primero quiere conocer qué tan sensible es la decisión a los niveles de demanda antes de hacer su elección final.

El análisis de punto de equilibrio no puede decirle al administrador que siga adelante con una idea de un nuevo servicio o producto o que lo deje. La técnica solo muestra qué es probable que ocurra para varios pronósticos de costos y volúmenes de venta. Para evaluar una variedad de preguntas de "qué pasa si" se usa un enfoque llamado **análisis de sensibilidad**, una técnica para cambiar sistemáticamente los parámetros de un modelo y así determinar los efectos de los cambios. El concepto se puede aplicar más adelante a otras técnicas como programación lineal. Por ahora evaluamos la sensibilidad de la ganancia total para diferentes estrategias de precios, pronósticos de ventas o estimaciones de costo.

análisis de sensibilidad
Técnica para cambiar sistemáticamente los parámetros de un modelo, para determinar los efectos de los cambios.

EJEMPLO A.2 Análisis de sensibilidad del pronóstico de ventas

Si el pronóstico de ventas más pesimista para el servicio propuesto en la figura A.1 fuera 1,500 pacientes, ¿cuál sería la contribución anual a la ganancia y los gastos generales?

SOLUCIÓN
La gráfica muestra que aun el pronóstico pesimista está arriba del volumen de punto de equilibrio, lo cual es alentador. La contribución total del procedimiento, que se encuentra restando los costos totales de los ingresos totales, es

$$pQ - (F + cQ) = 200(1{,}500) - [100{,}000 + 100(1{,}500)]$$
$$= \$50{,}000$$

PUNTO DE DECISIÓN
Aun con el pronóstico pesimista, el nuevo procedimiento contribuye con $50,000 al año. Después de evaluar la propuesta con el método de valor presente (vea el suplemento F en MyOMLab) la administración agregó el nuevo procedimiento.

MyOMLab

Evaluación de procesos

Con frecuencia, se puede elegir entre dos procesos o entre un proceso interno y comprar los servicios o materiales fuera. En esos casos, suponemos que la decisión no afecta los ingresos. El administrador debe estudiar todos los costos y ventajas de cada enfoque. En lugar de encontrar la cantidad para la que los costos totales sean iguales a los ingresos, el analista encuentra la cantidad para la

cual los costos totales para las dos alternativas sean iguales. Para la decisión de hacer o comprar, se trata de la cantidad para la cual el costo total de "comprar" es igual al costo total de "hacer". Sean F_b el costo fijo (anual) de la opción de comprar, F_m el costo fijo de la opción de hacer, c_b el costo variable (por unidad) de la opción de comprar y c_m el costo variable de la opción de hacer. Así, el costo total de comprar es $F_b + c_bQ$ y el costo total de hacer es $F_m + c_mQ$. Para encontrar la cantidad del punto de equilibrio, se igualan las dos funciones de costo y se despeja Q.

$$F_b + c_bQ = F_m + c_mQ$$

$$Q = \frac{F_m - F_b}{c_b - c_m}$$

La opción de hacer debe considerarse, ignorando los factores cualitativos, solo si sus costos variables son menores que los de la opción de comprar. La razón es que los costos fijos al hacer el servicio o producto suelen ser más altos que los costos fijos de comprarlo. En estas circunstancias, la opción de comprar es mejor si los volúmenes de producción son menores que el punto de equilibrio. Más allá de esta cantidad, la opción de hacer se convierte en la mejor. El capítulo 10, "Diseño de la cadena de suministro", expone otras consideraciones sobre las decisiones de hacer o comprar.

EJEMPLO A.3 Análisis de punto de equilibrio para decisiones de hacer o comprar

MyOMLab
El modelo activo A.2 en MyOMLab proporciona una visión adicional sobre este ejemplo de hacer o comprar y sus extensiones.

El gerente de un restaurante de comida rápida que ofrece hamburguesas quiere agregar ensaladas al menú. Para cada una de las dos nuevas opciones el precio al cliente será el mismo. La opción de "hacer" es instalar una barra con vegetales, fruta y aderezos y dejar al cliente crear su propia ensalada. La barra se rentaría y se contrataría a un nuevo empleado de tiempo parcial. El gerente estima costos fijos de $12,000 y costos variables totales de $1.50 por ensalada. Otra opción de "comprar" es tener ensaladas ya listas para la venta. Se adquirirían a un proveedor local a $2.00 por ensalada. Ofrecer las ensaladas preparadas requiere la instalación y operación de refrigeración adicional, con un costo anual de $2,400. El gerente espera vender 25,000 ensaladas por año.

¿Cuál es la cantidad de "hacer" o "comprar"?

MyOMLab
El tutor A.2 en MyOMLab proporciona un nuevo ejemplo de práctica para el análisis de punto de equilibrio en decisiones de hacer o comprar.

SOLUCIÓN
La fórmula para el punto de equilibrio da lo siguiente:

$$Q = \frac{F_m - F_b}{c_b - c_m}$$

$$= \frac{12{,}000 - 2{,}400}{2.0 - 1.5} = 19{,}200 \text{ ensaladas}$$

	Proceso 1	Proceso 2
Costos fijos (F)	$12,000	$2,400
Costos variables (c)	$1.50	$2.00
Demanda esperada	25,000	
Punto de equilibrio	19,200.0	
Decisión: proceso 1		

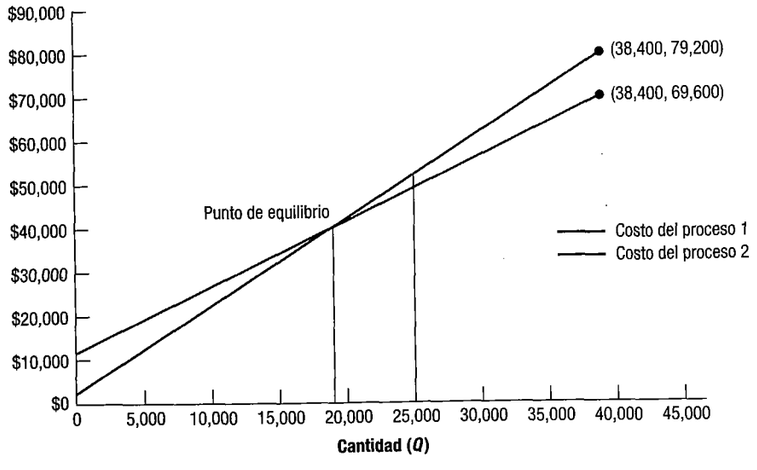


FIGURA A.2 ▶
Solver para análisis de punto de equilibrio de OM Explorer para el ejemplo A.3

La figura A.2 muestra la solución con el Solver *análisis de punto de equilibrio* de OM Explorer. La cantidad de *equilibrio* es 19,200 ensaladas. Como el *pronóstico de venta de 25,000 ensaladas excede esta cantidad*, la opción de "hacer" es preferible. Solo si el restaurante esperara vender menos de 19,200 ensaladas, la opción de "comprar" sería mejor.

PUNTO DE DECISIÓN
El gerente elige la opción de "hacer" después de considerar otros factores cualitativos, como las preferencias del cliente y la incertidumbre en la demanda. Un factor decisivo fue que el pronóstico de vender 25,000 ensaladas está muy por arriba del punto de equilibrio de 19,200.

Matriz de preferencias

Con frecuencia, las decisiones deben tomarse en situaciones en las que múltiples criterios no se pueden unir de manera natural en una sola medida (como dinero). Por ejemplo, un administrador que decide en cuál de dos ciudades establecer una nueva planta tendrá que considerar factores no cuantificables como la calidad de vida, la actitud de los trabajadores hacia el trabajo y la recepción de la comunidad en las dos ciudades. Estos importantes factores no se deben ignorar. Una **matriz de preferencias** es una tabla que permite al administrador calificar una alternativa de acuerdo con varios criterios de desempeño. El criterio se puede calificar en cualquier escala, como de 1 (lo peor) a 10 (lo mejor) o de 0 a 1, siempre que se aplique la misma escala a todas las alternativas que se comparan. Cada calificación se pondera de acuerdo con su importancia percibida, donde el total de estas ponderaciones suele ser igual a 100. La calificación total es la suma de las calificaciones ponderadas (peso × calificación) para todos los criterios. El administrador puede comparar las calificaciones para las alternativas una con otra o contra un umbral predeterminado.

matriz de preferencias
Tabla que permite al administrador calificar una alternativa de acuerdo con varios criterios de desempeño.

EJEMPLO A.4 Evaluación de una alternativa con la matriz de preferencias

La siguiente tabla muestra los criterios de preferencia, las ponderaciones y las calificaciones (1 = peor, 10 = mejor) para un nuevo producto: un sistema de aire acondicionado con depósito térmico. Si la administración quiere introducir solo un nuevo producto y la calificación total más alta entre las otras ideas de productos es 800, ¿debe la empresa seguir adelante con el aire acondicionado?

MyOMLab
El tutor A.3 en MyOMLab proporciona un nuevo ejemplo de práctica con la matriz de preferencias.

Criterio de desempeño	Peso (*A*)	Calificación (*B*)	Calificación ponderada (*A* × *B*)
Potencial del mercado	30	8	240
Margen de ganancia unitaria	20	10	200
Compatibilidad de operaciones	20	6	120
Ventaja competitiva	15	10	150
Requerimiento de inversión	10	2	20
Riesgo de proyecto	5	4	20
			Calificación ponderada = 750

SOLUCIÓN
Debido a que la suma de las calificaciones ponderadas es 750, se queda abajo de 800 de otro producto. Este resultado se confirma en la salida del *Solver matriz de preferencias*, de OM Explorer, en la figura A.3.

Insertar criterio | Agregar criterio | Eliminar criterio

	Peso (A)	Calificación (B)	Calificación ponderada (A x B)
Potencial del mercado	30	8	240
Margen de ganancia unitaria	20	10	200
Compatibilidad de operaciones	20	6	120
Ventaja competitiva	15	10	150
Requerimiento de inversión	10	2	20
Riesgo del proyecto	5	4	20
	Calificación ponderada final		750

◀ FIGURA A.3
Solver *matriz de preferencias* para el ejemplo A.4

PUNTO DE DECISIÓN
La administración debe dejar de lado la idea del aire acondicionado con depósito térmico. Otra idea de un nuevo producto es mejor si se consideran múltiples criterios y la administración solo desea introducir un nuevo producto a la vez.

No todos los administradores se sienten a gusto con la técnica de matriz de preferencias. Esta requiere que el administrador establezca pesos para los criterios antes de examinar las alternativas, aunque los pesos adecuados pueden ser bastante obvios. Tal vez, solo después de ver las calificaciones para varias alternativas, el administrador podrá decidir qué es importante y qué no. Como una calificación baja para un criterio puede compensarse o anularse con las calificaciones altas de otros, el método de matriz de preferencias también ocasiona que los administradores ignoren señales importantes. En el ejemplo A.4, la inversión requerida para el aire acondicionado con depósito térmico puede exceder la capacidad financiera de la empresa. En tal caso, el administrador ni siquiera debe considerar la alternativa, no importa qué tan alta sea su calificación.

Teoría de decisiones

teoría de decisiones
Enfoque general de toma de decisiones cuando los resultados asociados con las alternativas frecuentemente se ponen en duda.

La **teoría de decisiones** es un enfoque general de la toma de decisiones cuando los resultados asociados con las alternativas están constantemente en duda. Ayuda al administrador de operaciones con las decisiones sobre proceso, capacidad, localización e inventario porque esas decisiones son sobre un futuro incierto. La teoría de decisiones también puede ser útil para los administradores en otras áreas funcionales. Con la teoría de decisiones, un administrador elige usando el siguiente proceso:

1. Enumerar las *alternativas* factibles. Una alternativa que siempre debe considerarse como base para referencia es no hacer nada. Una suposición básica es que el número de alternativas sea finito. Por ejemplo, al decidir si localizar una nueva tienda en cierta parte de la ciudad, un administrador puede considerar teóricamente todas las coordenadas en un mapa de la ciudad. Sin embargo, siendo realistas, el administrador debe reducir sus opciones a un número razonable.
2. Enumerar los *eventos* (algunas veces llamados *eventos aleatorios o estados de la naturaleza*) que tienen un impacto en el resultado de la opción, pero que no están bajo el control del administrador. Por ejemplo, la demanda experimentada por la nueva instalación podría ser mayor o menor, dependiendo no solo de si la localización es conveniente para muchos clientes, sino también de lo que hace la competencia y de las tendencias generales de la venta. Entonces, los eventos se agrupan en categorías razonables. Por ejemplo, suponga que el número promedio de ventas por día es cualquier número, de 1 a 500. En lugar de tener 500 eventos, el administrador puede representar la demanda con solo tres eventos: 100 ventas/día, 300 ventas/día o 500 ventas/día. Los eventos deben ser mutuamente excluyentes y colectivamente exhaustivos, lo que significa que no se traslapan y cubren todas las eventualidades.
3. Calcular los *pagos* para cada alternativa en cada evento. Por lo general, el pago es ganancia total o costo total. Estos pagos se pueden incluir en una **tabla de pagos**, que muestra la cantidad para cada alternativa si ocurre cada evento posible. Para tres alternativas y cuatro eventos, la tabla deberá tener 12 pagos (3×4). Si ocurren distorsiones significativas cuando no se reconoce el valor del dinero en el tiempo, los pagos deben expresarse como valores presentes o tasas internas de retorno (vea MyOMLab, Suplemento F). Para criterios múltiples con factores cualitativos importantes, se usan las calificaciones ponderadas de un enfoque de matriz de preferencias, como los pagos.
4. Estimar la probabilidad de cada evento, usando datos pasados, opiniones ejecutivas u otros métodos de pronósticos. Expresarlas como *probabilidades*, asegurando que la suma de las probabilidades sea 1.0. Desarrollar estimaciones de probabilidades de datos históricos si el pasado se considera un buen indicador del futuro.
5. Seleccionar la *regla de decisión* para evaluar las alternativas, como elegir la alternativa con el menor costo esperado. La regla elegida depende de la cantidad de información que tiene el administrador sobre las probabilidades de los eventos y las actitudes del administrador hacia el riesgo.

tabla de pagos
Tabla que muestra la cantidad para cada alternativa si cada evento posible ocurre.

MyOMLab

Al usar este proceso, se examinan las decisiones en tres situaciones diferentes: certidumbre, incertidumbre y riesgo.

Toma de decisiones bajo certidumbre

La situación más simple es cuando el administrador sabe qué evento ocurrirá. Aquí la regla de decisión es elegir la alternativa con el mejor pago para el evento conocido. La mejor alternativa es la del pago más alto si los pagos se expresaron como ganancias. Si los pagos se expresaron como costos, la mejor alternativa es la que tiene el menor pago.

EJEMPLO A.5 **Decisiones bajo certidumbre**

Un administrador quiere decidir si construir una instalación pequeña o grande. Mucho depende de la demanda futura a la que la instalación va a servir, y la demanda puede ser pequeña o grande. El administrador conoce con certeza los pagos que resultarán con cada alternativa, los cuales se muestran en la siguiente tabla de pagos. Los pagos (en $000) son los valores presentes de los ingresos futuros menos los costos de cada alternativa en cada evento.

	DEMANDA FUTURA POSIBLE	
Alternativa	**Baja**	**Alta**
Instalación pequeña	200	270
Instalación grande	160	800
No hacer nada	0	0

¿Cuál es la mejor opción si la demanda futura fuera baja?

SOLUCIÓN
En este ejemplo, la mejor opción es el pago más alto. Si el administrador sabe que la demanda futura será baja, la compañía debe construir una instalación pequeña y disfrutar un pago de $200,000. La instalación más grande tiene un pago de solo $160,000. La alternativa de "no hacer nada" está dominada y el administrador ya no la considera.

PUNTO DE DECISIÓN
Si el administrador realmente conoce la demanda futura, considerará la instalación pequeña si la demanda es baja y la grande si la demanda es alta. Pero si la demanda es incierta, debe ponderar otras reglas de decisión.

Toma de decisiones bajo incertidumbre

Suponemos que el administrador puede enumerar los eventos posibles, pero no estimar sus probabilidades. Quizás una falta de experiencia anterior hace difícil que la empresa estime las probabilidades. En esa situación, el administrador puede usar una de cuatro reglas de decisión:

1. *Maximin.* Se elige la alternativa que es "la mejor de lo peor". Esta regla es para el *pesimista* que anticipa el "peor caso" para cada alternativa.
2. *Maximax.* Se elige la alternativa que es "la mejor de las mejores". Esta regla es para el *optimista* que tiene grandes expectativas y prefiere "ir por todo".
3. *Laplace.* Se selecciona la alternativa con el mejor *pago ponderado*. Para encontrar el pago ponderado se da la misma importancia (de otra manera, igual probabilidad) a todos los eventos. Si hay n eventos, la importancia (o probabilidad) de cada uno es $1/n$, de modo que sumen 1.0. Esta regla es para la persona *realista*.
4. *Arrepentimiento minimax.* Se elige la alternativa con el mejor de los "peores arrepentimientos". Se calcula la tabla de arrepentimientos (o pérdidas de oportunidad), en la que los renglones representan las alternativas y las columnas representan los eventos. Un arrepentimiento es la diferencia entre un pago dado y el mejor pago en la misma columna. Para un evento, muestra cuánto se pierde al elegir una alternativa en lugar de la que es mejor para este evento. El arrepentimiento puede ser pérdida de ganancias o un mayor costo, dependiendo de la situación.

EJEMPLO A.6 **Decisiones bajo incertidumbre**

Reconsidere la matriz de pagos del ejemplo A.5. ¿Cuál es la mejor alternativa para cada regla de decisión?

MyOMLab
El tutor A.4 en MyOMLab proporciona un nuevo ejemplo para tomar decisiones bajo incertidumbre.

SOLUCIÓN

a) *Maximin*. El peor pago para una *alternativa* es el número menor en ese renglón de la matriz de pagos, porque los pagos son ganancias. Los peores pagos (en $000) son

Alternativa	**Peor pago**
Instalación pequeña	200
Instalación grande	160

El mejor de los peores números es $200,000, de manera que el pesimista construiría una instalación pequeña.

b) *Maximax*. El mejor pago de una alternativa (en $000) es el número más grande en su renglón de la matriz de pagos, es decir

Alternativa	Mejor pago
Instalación pequeña	270
Instalación grande	800

El mejor de estos números es $800,000, de manera que el optimista construirá una instalación grande.

c) *Laplace*. Con dos eventos, asignamos a cada uno una probabilidad de 0.5. Así, los pagos ponderados ($000) son

Alternativa	Pago ponderado
Instalación pequeña	0.5 (200) + 0.5 (270) = **235**
Instalación grande	0.5 (160) + 0.5 (800) = **480**

El mejor de estos pagos ponderados es $480,000, por lo que el realista construiría una instalación grande.

d) *Minimax*. Si la demanda resultase baja, la mejor alternativa es una instalación pequeña y su arrepentimiento es 0 (o 200 – 200). Si se construye la instalación grande cuando la demanda resulta ser baja, el arrepentimiento es 40 (o 200 – 160).

	ARREPENTIMIENTO		
Alternativa	**Demanda baja**	**Demanda alta**	**Máximo arrepentimiento**
Instalación pequeña	200 – 200 = **0**	800 – 270 = **530**	**530**
Instalación grande	200 – 160 = **40**	800 – 800 = **0**	**40**

La columna de la derecha muestra el peor arrepentimiento para cada alternativa. Para minimizar el máximo arrepentimiento, se elige una instalación grande. El arrepentimiento mayor está asociado con tener solo una instalación pequeña y una demanda alta.

PUNTO DE DECISIÓN
El pesimista elegiría la instalación pequeña. El realista, el optimista y el administrador que elige minimizar el arrepentimiento máximo construye una instalación grande.

Toma de decisiones bajo riesgo

En este caso, suponemos que el administrador puede enumerar los eventos y estimar sus probabilidades. El administrador tiene menos información que en la toma de decisiones bajo certidumbre, pero más información que en la toma de decisiones bajo incertidumbre. Para esta situación intermedia, la regla de decisión del *valor esperado* se usa ampliamente (tanto en la práctica como en este libro). El valor esperado de una alternativa se encuentra ponderando cada pago con su probabilidad asociada y luego sumando las calificaciones de pagos ponderados. Se elige la alternativa con el mejor pago esperado (mayor para ganancias y menor para costos).

Esta regla es parecida a la regla de decisión de Laplace, excepto que ya no se supone que los eventos son igualmente probables (o igualmente importantes). El valor esperado es lo que sería el *pago* promedio si la decisión se pudiera repetir una y otra vez. Por supuesto, la regla de decisión del valor esperado puede dar un mal resultado si ocurre el evento equivocado. Sin embargo, da los mejores resultados si se aplica con congruencia durante un periodo largo. La regla no debe usarse si el administrador se inclina por evitar el riesgo.

EJEMPLO A.7 Decisión bajo riesgo

Reconsidere la matriz de pagos del ejemplo A.5. Para la regla de decisión de valor esperado, ¿cuál es la mejor alternativa si se estima que la probabilidad de una demanda baja es 0.4 y la probabilidad de una demanda alta es 0.6?

MyOMLab
El tutor A.5 en MyOMLab proporciona un nuevo ejemplo para tomar decisiones bajo riesgo.

SOLUCIÓN
El valor esperado de cada alternativa es el siguiente:

Alternativa	Valor esperado
Instalación pequeña	0.4(200) + 0.6(270) = **242**
Instalación grande	0.4(160) + 0.6(800) = **544**

PUNTO DE DECISIÓN
La administración elegiría una instalación grande si usara esta regla de decisión de valor esperado, porque proporciona los mejores resultados a largo plazo si se aplica sistemáticamente en el tiempo.

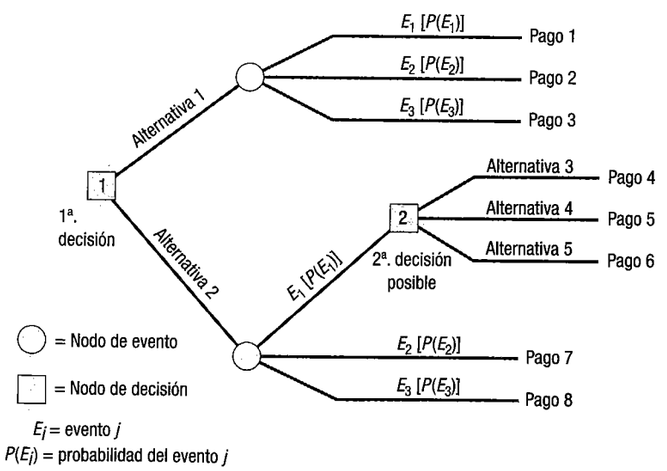
Árboles de decisiones

El método del árbol de decisiones es un enfoque general a una amplia gama de decisiones respecto a procesos y cadenas de suministro, como planeación de un producto, análisis de procesos, capacidad de procesos y localización. Es particularmente valioso para evaluar diferentes alternativas de expansión de capacidad cuando la demanda es incierta y se trata de decisiones secuenciales. Por ejemplo, una compañía puede ampliar una instalación en 2013 solo para descubrir en 2016 que la demanda es mucho más alta que la pronosticada. En ese caso, sería necesaria una segunda decisión para determinar si expandir de nuevo o construir otra instalación.

Un **árbol de decisiones** es un modelo esquemático de las alternativas disponibles para el tomador de decisiones, así como sus posibles consecuencias. El nombre se deriva de la apariencia del modelo, parecido a un árbol. Consiste en cierto número de *nodos* cuadrados, que representan puntos de decisión, de los que salen *ramas* (que deben leerse de izquierda a derecha) y representan las alternativas. Las ramas que salen de los nodos circulares o probabilísticos representan los eventos. La probabilidad de cada evento, $P(E)$, se muestra arriba de cada rama. Las probabilidades de las ramas que salen de un nodo probabilístico deben sumar 1.0. El pago condicional, que es el pago de cada combinación posible de alternativa-evento, se muestra al final de cada combinación. Los pagos se dan al principio, antes de comenzar el análisis, para los puntos terminales de cada combinación alternativa-evento. En la figura A.4, por ejemplo, el pago 1 es el resultado financiero que espera el administrador si elige la alternativa 1 y luego ocurre el evento probabilístico 1.

árbol de decisiones
Modelo esquemático de las alternativas disponibles para el tomador de decisiones, con sus consecuencias posibles.

No se pueden asociar pagos con las ramas hacia la izquierda, como la alternativa 1 como un todo, porque está seguida por un evento aleatorio y no es el punto terminal. Los pagos con



◀ **FIGURA A.4**
Modelo de árbol de decisiones

frecuencia se expresan como el valor presente de las ganancias netas. Si la decisión no afecta los ingresos, el pago se expresa como costos netos.

Después de dibujar el árbol de decisiones, se resuelve trabajando de derecha a izquierda, calculando el *pago esperado* para cada nodo como sigue:

1. Para un nodo de evento, multiplicamos el pago de cada rama de evento por la probabilidad del evento. Sumamos estos productos para obtener el pago esperado del nodo de evento.
2. Para un nodo de decisión elegimos la alternativa que tiene el mejor pago esperado. Si una alternativa lleva a un nodo de evento, su pago es igual al del pago esperado de ese nodo (ya calculado). "Podamos" las otras ramas que no se eligieron, marcándolas con dos líneas pequeñas. El pago esperado del nodo de decisión es el que se asocia con la única rama que queda sin podar. Continuamos este proceso hasta llegar al nodo de decisión más a la izquierda. La rama no podada que sale de este nodo es la mejor alterativa a seguir. Si se tienen decisiones en varias etapas, debemos esperar los eventos subsecuentes antes de decidir qué hacer. Si se obtienen nuevas probabilidades o estimaciones de pago, se repite el proceso.

Existen varios paquetes de software para dibujar árboles de decisiones. Se puede usar PowerPoint para dibujarlos, aunque no tienen la capacidad de analizar el árbol de decisiones. Además de POM Windows, se encuentran capacidades más extensas en SmartDraw (**www.smartdraw.com**), el análisis de decisiones PrecisionTree de la empresa Palisade Corporation (**www.palisade.com**) y TreePlan (**www.treeplan.com/treeplan.htm**).

EJEMPLO A.8 Análisis del árbol de decisiones

MyOMLab
El modelo activo A.3 en MyOMLab proporciona una visión adicional para este ejemplo de árbol de decisiones y sus extensiones.

La administración de una tienda debe decidir si construir una instalación pequeña o grande en otro lugar. La demanda ahí puede ser baja o alta, con probabilidades estimadas en 0.4 y 0.6, respectivamente. Si construye la instalación pequeña y la demanda resulta alta, el administrador puede elegir no expandirse (pago = $223,000) o expandirse (pago $270,000). Si se construye una instalación pequeña y la demanda es baja, no hay razón para la expansión y el pago es $200,000. Si construye una instalación grande y la demanda resulta baja, la opción es no hacer nada ($40,000) o estimular la demanda con publicidad local. La respuesta a la publicidad puede ser modesta o considerable, con probabilidades estimadas en 0.3 y 0.7, respectivamente. Si es modesta, el pago estimado será solo de $20,000; si la respuesta es considerable, el pago crece a $220,000; y por último, si construye una instalación grande y la demanda resulta alta, el pago es de $800,000.

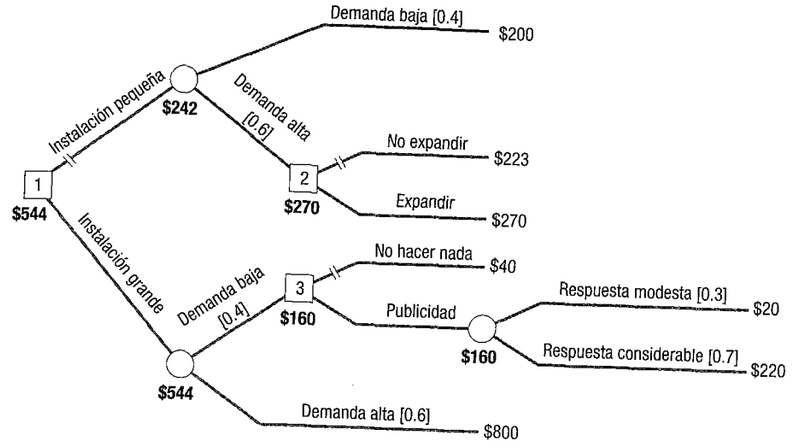
Dibuje un árbol de decisiones. Después analícelo para determinar el pago esperado de cada decisión y nodo de evento. ¿Qué alternativa, construir una instalación pequeña o grande, tiene el pago esperado más alto?

SOLUCIÓN

El árbol de decisiones de la figura A.5 muestra las probabilidades de los eventos para cada una de las siete combinaciones alternativa-evento. La primera decisión es si construir una instalación pequeña o grande. Su nodo se muestra primero a la izquierda, porque es la decisión que el administrador de la tienda debe tomar. Al segundo nodo de decisión, expandir después, se llega solo si se construye una instalación pequeña y la demanda resulta alta. Por último, al tercer punto de decisión, hacer publicidad, se llega solo si el administrador construyó una instalación grande y la demanda resulta baja.

El análisis de este árbol comienza con el cálculo de los pagos esperados de derecha a izquierda, mostrados en la figura A.5 abajo de los nodos adecuados de eventos y decisiones.

1. Para el nodo de evento que trata de la publicidad, el pago esperado es 160 o la suma de los pagos ponderados multiplicados por su probabilidad [0.3 (20) + 0.7 (220)].
2. El pago esperado para el nodo de decisión 3 es 160 porque *Publicidad* (160) es mejor que *No hacer nada* (40). Podemos la alternativa *No hacer nada*.
3. El pago para el nodo de decisión 2 es 270 porque *Expandir* (270) es mejor que *No expandir* (223). Podemos la rama *No expandir*.
4. El pago esperado para el nodo de evento que trata con la demanda, suponiendo que se construyó una instalación pequeña, es 242 [0.4 (200) + 0.6 (270)].
5. El pago esperado del nodo de evento que trata con la demanda, suponiendo que se construyó una instalación grande, es 544 [0.4(160) + 0.6 (800)].
6. El pago esperado para el nodo de decisión 1 es 544 porque el pago esperado de una instalación grande es el mayor. Se poda la *Instalación pequeña*.



◀ **FIGURA A.5**
Árbol de decisión para el administrador de la tienda (en $000)

PUNTO DE DECISIÓN

El administrador debe construir una instalación grande. Esta decisión inicial es la única que se toma ahora. Las decisiones subsecuentes se toman después de ver si la demanda, en efecto, es baja o alta.

REPASO DE LAS METAS DE APRENDIZAJE

1. **Explicar el análisis de punto de equilibrio usando ambos enfoques, gráfico y algebraico.** La sección "Evaluación de servicios o productos", pp. 32-33, cubre este análisis. El ejemplo A.1 y el problema resuelto 1 demuestran ambos enfoques. El ejemplo A.3 muestra su utilización en la evaluación de procesos diferentes.
2. **Definir la matriz de preferencias.** Vea la sección "Matriz de preferencias", pp. 35-36, para tomar decisiones respecto a factores no cuantificables, donde algunos de ellos se califican como más importantes que otros. El ejemplo A.4 y el problema resuelto 2 muestran los cálculos.
3. **Explicar cómo se construye una tabla de pagos.** La sección "Teoría de decisiones", pp. 36-38, comienza con la construcción de una tabla de pagos que muestra el pago para cada alternativa factible y cada evento. Vea la tabla en el ejemplo A.5.
4. **Identificar las reglas de decisión maximin, maximax, Laplace, *arrepentimiento minimax* y el valor esperado.** Las secciones "Toma de decisiones bajo incertidumbre" y "Toma de decisiones bajo riesgo", pp. 37-38, cubren esas reglas de decisión para cuando los resultados asociados con alternativas están en duda. Los ejemplos A.6 y A.7 muestran cómo funcionan estas reglas, lo mismo que el problema resuelto 3.
5. **Describir cómo se dibuja y analiza un árbol de decisiones.** La sección "Árboles de decisiones", pp. 39-41, muestra cómo dibujar y analizar los árboles de decisión donde se dispone de varias alternativas en el tiempo. Los ejemplos A.8 y el problema resuelto 4 muestran la manera de trabajar hacia atrás de derecha a izquierda, podando al hacerlo, hasta que se encuentra la mejor alternativa para el nodo de decisión 1.

MyOMLab le ayuda a desarrollar habilidades analíticas y evaluar su progreso con muchos problemas de análisis de punto de equilibrio, análisis de sensibilidad, hacer o comprar, matriz de preferencias, decisiones bajo incertidumbre, decisiones bajo riesgo y árboles de decisión.

Recursos de MyOMLab	Títulos	Vínculo con el libro
Ejercicio de modelo activo	A.1 Análisis de punto de equilibrio A.3 Decisión de hacer o comprar A.3 Árbol de decisiones	Evaluación de servicios o productos; ejemplos A.1-A.2 (pp. 32-33); Problema resuelto 1 (pp. 42-43) Evaluación de procesos; ejemplo A.3 (pp. 34-35) Árboles de decisión; ejemplo A.8 (p. 40)
Solver de OM Explorer	Análisis de punto de equilibrio Teoría de decisiones Matriz de preferencias	Análisis de punto de equilibrio; ejemplos A.1-A.3 (pp. 32-35) Teoría de decisiones; ejemplos A.5-A-7 (pp. 37-39) Matriz de preferencias; ejemplos A.4-A.6 (pp. 35-36); problema resuelto 2 (p. 43)

Recursos de MyOMLab	Títulos	Vínculo con el libro
Tutores de OM Explorer	A.1 Punto de equilibrio, evaluación de servicios y productos A.2 Evaluación de procesos A.3 Matriz de preferencias A.4 Decisiones bajo incertidumbre A.5 Decisiones bajo riesgo A.6 Decisiones de localización bajo incertidumbre	Evaluación de servicios o productos; ejemplos A.1-A.2 (pp. 32-33); Problema resuelto 1 (pp. 42-43) Evaluación de procesos; ejemplo A.3 (pp. 34-35) Matriz de preferencias; ejemplo A.4 (pp. 35-36) Decisiones bajo incertidumbre; ejemplo A.6 (pp. 37-38) Toma de decisiones bajo riesgo; problema resuelto A.7 (p. 45); problema resuelto 3 (p.44) Tutor A.6
POM para Windows	Tablas de decisiones Árboles de decisiones (gráfica) Análisis de costo-volumen Matriz de preferencias Análisis de punto de equilibrio	Teoría de decisiones Árboles de decisiones (gráfica); ejemplo A.8 (p. 40); problema resuelto 4 (p. 44) Evaluación de procesos Matriz de preferencias; ejemplo A.4 (pp. 35-36); problema resuelto 2 (p. 43) Análisis de punto de equilibrio: ejemplos A.1-A.3 (pp. 32-35); problema resuelto 1 (pp. 42-43)
Tours virtuales	Cámaras infrarrojas Flir *Servicios de inversión E*Trade*	Teoría de decisiones *Teoría de decisiones*
Suplementos de MyOMLab	F. Análisis financiero	Suplemento F de MyOMLab
Ejercicios en Internet	Pequeño negocio en Florida	Análisis de punto de equilibrio
Ecuaciones clave		
Biblioteca de imágenes		

Ecuaciones clave

1. Punto equilibrio: $Q = \dfrac{F}{p - c}$
2. Evaluación de procesos, cantidad de indiferencia hacer o comprar: $Q = \dfrac{F_m - F_b}{c_b - c_m}$

Términos clave

análisis de punto de equilibrio 31
análisis de sensibilidad 33
árbol de decisiones 39
cantidad de punto de equilibrio 31
costo fijo 32
costo variable 32
matriz de preferencias 35
tabla de pagos 36
teoría de decisiones 36

Problema resuelto 1

El dueño de un pequeño negocio de manufactura patentó un nuevo dispositivo para lavar platos y limpiar las tarjas sucias. Antes de intentar comercializar el dispositivo y agregarlo a su línea de producción existente, él desea tener una certeza razonable de éxito. Los costos variables se estiman en $7 por unidad producida y vendida. Los costos fijos serán de alrededor de $56,000 por año.

a) Si el precio de venta se establece en $25, ¿cuántas unidades debe producir y vender para salir sin ganar ni perder?

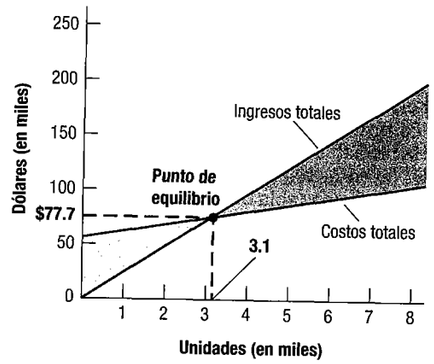
b) Las ventas pronosticadas para el primer año son 10,000 unidades si el precio se reduce a $15. Con esta estrategia de precios, ¿cuál sería la contribución total del producto a las ganancias el primer año?

SOLUCIÓN

a) Comenzando con el enfoque algebraico, se tiene

$$Q = \frac{F}{p - c} = \frac{56{,}000}{25 - 7}$$
$$= 3{,}111 \text{ unidades}$$

◀ **FIGURA A.6**



Usando el enfoque gráfico mostrado en la figura A.6, primero trazamos dos rectas:

$$\text{Ingreso total} = 25Q$$
$$\text{Costo total} = 56{,}000 + 7Q$$

Las dos rectas se cruzan en $Q = 3{,}111$ unidades, el punto de equilibrio.

b) Contribución total a la ganancia = ingreso total – costo total

$$= pQ - (F - cQ)$$
$$= 15(10{,}000) - [56{,}000 + 7(10{,}000)]$$
$$= \$24{,}000$$

Problema resuelto 2

La compañía Herron está revisando tres ideas de nuevos productos: A, B y C. Las restricciones de recursos permiten comercializar solo uno. El criterio de desempeño y las calificaciones, en una escala de 1 (peor) a 10 (mejor), se muestran en la siguiente tabla. Los administradores de Herron dan el mismo peso a los criterios de desempeño. ¿Cuál es la mejor alternativa, según lo indica el método de matriz de preferencias?

	CALIFICACIÓN		
Criterio de desempeño	**Producto A**	**Producto B**	**Producto C**
1. Incertidumbre en la demanda y riesgo del proyecto	3	9	2
2. Similitud con productos actuales	7	8	6
3. Retorno sobre la inversión esperado (ROI)	10	4	8
4. Compatibilidad con proceso de manufactura actual	4	7	6
5. Ventaja competitiva	4	6	5

SOLUCIÓN

Cada uno de los cinco criterios recibe una ponderación de 1/5 o 0.20.

Producto	Cálculo	Calificación total
A	$(0.2 \times 3) + (0.20 \times 7) + (0.20 \times 10) + (0.20 \times 4) + (0.20 \times 4)$	$= 5.6$
B	$(0.20 \times 9) + (0.20 \times 8) + (0.20 \times 4) + (0.20 \times 7) + (0.20 \times 6)$	$= 6.8$
C	$(0.20 \times 2) + (0.20 \times 6) + (0.20 \times 8) + (0.20 \times 6) + (0.20 \times 5)$	$= 5.4$

La mejor opción es el producto B. Los productos A y C se quedan bastante atrás en términos de la calificación ponderada total.

Problema resuelto 3

MyOMLab
El tutor A.6 en MyOMLab examina las decisiones bajo incertidumbre para un ejemplo de localización.

Adele Weiss administra la tienda de flores del campus. Debe ordenar las flores con tres días de anticipación a su proveedor en México. Aunque se acerca el día de San Valentín, las ventas son casi todas de último momento, compras de impulso. Las ventas anticipadas son tan pocas que Weiss no tiene manera de estimar la probabilidad de una demanda baja (25 docenas), mediana (60 docenas) o alta (130 docenas) para las rosas rojas "en el gran día". Compra rosas por $15 la docena y las vende en $40 la docena. Construya una tabla de pagos. ¿Qué decisión es la indicada por cada uno de los siguientes criterios de decisión?

a) Maximin
b) Maximax
c) Laplace
d) Arrepentimiento minimax

SOLUCIÓN

La tabla de pagos para este problema es

	DEMANDA DE ROSAS ROJAS		
Alternativa	**Baja (25 docenas)**	**Mediana (60 docenas)**	**Alta (130 docenas)**
Ordenar 25 docenas	$625	$625	$625
Ordenar 60 docenas	$100	$1,500	$1,500
Ordenar 130 docenas	($950)	$450	$450
No hacer nada	$0	$0	$0

a) Con el criterio maximin, Weiss debe ordenar 25 docenas, porque si la demanda es baja, las ganancias serán $625, el mejor de los peores pagos.

b) Con el criterio maximax, Weiss debe ordenar 130 docenas. El mayor pago posible, $3,250, está asociado con la orden más grande.

c) Con el criterio de Laplace, Weiss debe ordenar 60 docenas. Los pagos con ponderaciones iguales para ordenar 25, 60 y 130 docenas son de alrededor de $625, $1,033 y $917, respectivamente.

d) Con el criterio de arrepentimiento minimax, Weiss debe ordenar 130 docenas. El máximo arrepentimiento de ordenar 25 docenas ocurre si la demanda es alta: $3,250 – $625 = $2,625. El máximo arrepentimiento de ordenar 60 docenas ocurre si la demanda es alta: $3,250 – $1,500 = $1,750. El máximo arrepentimiento de ordenar 130 docenas ocurre si la demanda es baja: $625 – (–$950) = $1,575.

Problema resuelto 4

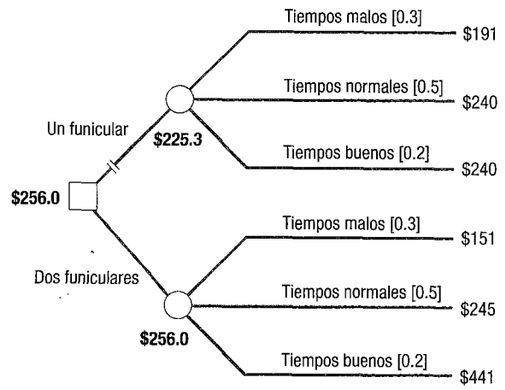
White Valley Ski Resort planea la operación de un funicular para su nueva bajada de esquí. La administración intenta determinar si serán necesarios uno o dos funiculares; cada uno puede servir a 250 personas por día. Los esquiadores suelen llegar en el periodo de 14 semanas de diciembre a abril, tiempo en que el funicular opera siete días de la semana. El primer funicular operará al 90% de su capacidad, pero si las condiciones económicas son malas, se piensa que la probabilidad es de 0.3. Durante tiempos normales el primer funicular se utilizará al 100% de su capacidad y el exceso de esquiadores dará una utilización de 50% del segundo funicular. La probabilidad de tiempos normales es 0.5. Por último, si los tiempos son realmente buenos, con una probabilidad de 0.2, la utilización del segundo funicular aumentará a 90%. El costo anual equivalente de instalar un nuevo funicular, tomando en cuenta el valor del dinero en el tiempo y la vida económica del funicular es $50,000. El costo anual de instalar dos funiculares es solo $90,000 si ambos se compran al mismo tiempo. Si se usan, el costo de operar cada funicular es $200,000, sin importar lo bajo o alto de su tasa de utilización. Los boletos del funicular cuestan $20 por cliente por día.

¿Debe el hotel comprar un funicular o dos?

SOLUCIÓN

El árbol de decisiones se muestra en la figura A.7. El pago ($000) para cada rama de alternativa-evento se presenta en la tabla siguiente. Los ingresos totales de un funicular que opera al 100% de su capacidad son $490,000 (250 clientes × 90 días × $20/clientes-día)

Alternativa	Condición económica	Cálculo de pagos (ingreso – costo)
Un funicular	Tiempos malos	0.9(490) – (50 + 200) = 191
	Tiempos normales	1.0(490) – (50 + 200) = 240
	Tiempos buenos	1.0 (490) – (50 + 200) = 240
Dos funiculares	Tiempos malos	0.9 (490) – (90 + 200) = 151
	Tiempos normales	1.5 (490) – (90 + 400) = 245
	Tiempos buenos	1.9 (490) – (90 + 400) = 441



◀ FIGURA A.7

Problemas

El OM Explorer y POM para Windows están disponibles para todos los estudiantes que usan la décima edición de este libro. Vaya a **www.pearsonhighered.com/krajewski** para bajar estos paquetes de computadora. Si compró MyOMLab, también tiene acceso al software de modelos activos y mucha ayuda para resolver los problemas siguientes. Verifique con su instructor la mejor manera de usar estos recursos. En muchos casos, el instructor le pedirá que comprenda cómo se hacen los cálculos a mano; por lo menos, el software proporciona una verificación de los mismos. Cuando los cálculos son muy complejos y la meta es interpretar los resultados al tomar una decisión, el software sustituye por completo los realizados manualmente.

ANÁLISIS DE PUNTO DE EQUILIBRIO

1. Mary Williams, dueña de Williams Products, está evaluando si debe introducir una nueva línea de producto. Después de pensar en el proceso de producción y los costos de materias primas, además del nuevo equipo, Williams estima que los costos variables de cada unidad producida y vendida son $6 y los costos fijos por año son $60,000.

a) Si el precio de venta se fija en $18 cada uno, ¿cuántas unidades debe producir y vender para "salir sin ganar ni perder"? Utilice los enfoques gráfico y algebraico para obtener su respuesta.

b) Williams pronostica ventas de 10,000 unidades para el primer año, si el precio de venta se fija en $14 cada uno. ¿Cuál sería la contribución total a las ganancias de este nuevo producto durante el primer año?

c) Si el precio de venta se establece en $12.50, Williams pronostica que las ventas del primer año aumentarían a 15,000 unidades. ¿Qué estrategia de precios ($14,00 o $12.50) daría la mayor contribución total a las ganancias?

d) ¿Qué otras consideraciones serían cruciales para la decisión final acerca de hacer y vender el nuevo producto?

2. Un producto en la compañía Jennings tiene un volumen razonable de ventas, pero su contribución a las ganancias fue decepcionante. El año pasado se produjeron y vendieron 17,500 unidades. El precio de venta es $22 por unidad, el costo variable es $18 por unidad y el costo fijo es $80,000.

a) ¿Cuál es el punto de equilibrio para este producto? Utilice los enfoques gráfico y algebraico para obtener su respuesta.

b) Si no se esperara un aumento en las ventas, ¿cuánto tendría Jennings que reducir su costo variable para salir sin ganar ni perder?

c) Jennings piensa que una reducción de $1 en el precio aumentaría las ventas en 50%. ¿Es suficiente para que Jennings "salga a mano"? Si no lo es, ¿cuánto tendrían que aumentar las ventas?

d) Jennings está considerando maneras de estimular el volumen de ventas o disminuir el costo variable. La administración piensa que las ventas pueden aumentarse 30% o el costo variable reducirse 85% de los niveles actuales. ¿Cuál alternativa conduce a contribuciones más altas que las ganancias? (Sugerencia: calcule las ganancias para ambas alternativas e identifique la que tiene las más altas).

e) ¿Cuál es el cambio porcentual en la contribución a la ganancia por unidad generada por cada alternativa del inciso d)?

3. Un servicio de televisión interactiva que cuesta $10 por *mes* puede venderse en la carretera de la información en $15 por cliente por *mes*. Si un área de servicio incluye 15,000 clientes potenciales, ¿cuánto es lo más que una compañía puede gastar en costos fijos *anuales* para adquirir y mantener el equipo?

4. Un restaurante está considerando agregar trucha de río fresca a su menú. Los clientes tendrán la opción de pescar su propia trucha en un arroyo que está en una montaña simulada o simplemente pedirla al mesero. Operar el sistema de arroyo requerirá un costo fijo de $10,600 al año. Los costos variables se estiman en $6.70 por trucha. La empresa quiere salir sin ganar ni perder si vende 800 truchas al año. ¿Cuál debe ser el precio del nuevo producto?

5. Spartan Castings debe implementar un proceso de producción que reduzca la cantidad de partículas emitidas a la atmósfera. Se han identificado dos procesos que proporcionan el mismo nivel de reducción de partículas. El primero se espera que incurra en un costo fijo de $350,000 y un costo variable de $50 por cada colada que produce Spartan. El segundo proceso tiene un costo fijo de $150,000 y un costo variable de $90 por colado.

a) ¿Cuál es el punto de equilibrio más allá del cual el primer proceso se vuelve más atractivo?

b) ¿Cuál es la diferencia en el costo total si la cantidad producida es 10,000?

6. Un servicio de recortes de noticias está considerando modernizarse. En lugar de recortar y fotocopiar artículos de interés y enviarlos por correo a sus clientes, usará historias electrónicas de la mayor parte de las publicaciones de circulación amplia como entrada a una base de datos. Cada asunto nuevo se busca con palabras clave como nombre de la compañía y de los competidores; tipo de negocio, de productos y de servicios, y funcionarios de la misma. Cuando la búsqueda arroje resultados coincidentes, se notifica al instante a los clientes afectados mediante Internet. Si la historia es de interés se transmite electrónicamente, de manera que el cliente la posea y pueda preparar comentarios para las entrevistas de seguimiento antes de que la publicación llegue a las calles. El manual de procesos tiene un costo fijo de $400,000 por año y un costo variable de $6.20 por recorte enviado. El precio que se cobra al cliente es $8.00 por recorte. El proceso computarizado tiene un costo fijo de $1,300,000 por año y un costo variable de $2.25 por historia transmitida electrónicamente al cliente.

a) Si se cobra el mismo precio por cualquiera de los dos procesos, ¿cuál es el volumen anual más allá del cual el proceso automatizado se vuelve más atractivo?

b) El volumen de negocios actual es 225,000 recortes por año. Muchos de los recortes que se envían con el proceso actual no son de interés para el cliente o son copias múltiples de la misma historia que aparece en varias publicaciones. El nuevo servicio de recortes piensa que al mejorar el servicio y bajar el precio a $4.00 por historia, la modernización aumentará el volumen a 900,000 historias transmitidas por año. ¿Debe el servicio de recortes modernizarse?

c) Si el incremento pronosticado en el negocio es demasiado optimista, ¿a qué volumen "saldrá a mano" el nuevo proceso (con el precio de $4.00)?

7. Hahn Manufacturing compra un componente clave para uno de sus productos a un proveedor local. El precio de compra actual es $1,500 por unidad. Los esfuerzos por estandarizar las partes tuvieron éxito al punto de que este mismo componente ahora se puede usar en cinco productos diferentes. La utilización anual del componente debe aumentar de 150 a 750 unidades. La administración se pregunta si es tiempo de hacer el componente, en lugar de continuar comprándolo al proveedor. Los costos fijos aumentarían cerca de $40,000 por año para el nuevo equipo y herramientas necesarios. El costo de la materia prima y los gastos generales variables sería cercano a $1,100 por unidad y los costos de mano de obra serán $300 por unidad.

a) ¿Debe Hahn hacer el componente en lugar de comprarlo?

b) ¿Cuál es la cantidad de equilibrio?

c) ¿Qué otras consideraciones son importantes?

8. Techno Corporation actualmente fabrica un artículo con un costo variable de $5 por unidad. Los costos fijos anuales de manufactura de este artículo son $140,000. El precio de venta actual es de $10 por unidad y el volumen anual de ventas es 30,000.

a) Techno puede mejorar sustancialmente la calidad del artículo instalando un equipo nuevo con un costo fijo anual adicional de $60,000. Los costos variables por unidad aumentarían $1, pero como se pueden vender más productos de mejora de calidad, el volumen anual aumentaría a 50,000 unidades. ¿Debe Techno comprar el nuevo equipo y mantener el precio actual del artículo? ¿Por qué sí o por qué no?

b) De manera alternativa, Techno puede aumentar el precio de venta a $11 por unidad. Sin embargo, el volumen de ventas anual se limitaría a 45,000 unidades. ¿Debe Techno comprar el nuevo equipo y elevar el precio del artículo? ¿Por qué sí o por qué no?

9. Tri-County Generation and Transmission Association es una organización cooperativa, no lucrativa que proporciona servicio de electricidad a clientes rurales. Con base en un pronóstico equivocado de la demanda de largo plazo, Tri-County construyó su sistema de generación y distribución sobredimensionado. Tri-County ahora tiene más capacidad de la que necesita para servir a sus clientes. Los costos fijos, principalmente debido al servicio de deuda sobre la inversión en planta y equipo, son $82.5 millones por año. Los costos variables, casi todos costos de combustibles fósiles, son $25 por megawatt-hora (MWh, o millones de Watts de uso de energía por hora). La nueva persona a cargo del pronóstico de demanda preparó un pronóstico a corto plazo para el proceso de presupuesto del próximo año. Ese pronóstico dice que los clientes de Tri deben consumir más de un millón de MWh de energía al año.

a) ¿Cuánto debe Tri-County cobrar por MWh a sus clientes para salir sin ganar ni perder?

b) Los clientes de Tri-County se disgustaron con el precio y optaron por ahorrar energía. Solo 95% de la demanda pronosticada se materializó. ¿Cuál es el superávit o la pérdida para esta organización no lucrativa?

10. Temblores, sequía, fuego, hambre, inundación y pestilencia fueron información divulgada por reporteros de TV y ocasionaron un éxodo de La ciudad de Los Ángeles a Boulder, Colorado. El repentino incremento en la demanda está forzando al sistema eléctrico de Boulder. Las alternativas se han reducido a comprar 150,000 MWh de energía a Tri-County G&T a un precio de $75 por MWh, o bien, restaurar y re comisionar la estación abandonada de Pearl Street Power Station en el centro de Boulder. Los costos fijos de ese proyecto son $10 millones por año y los costos variables serían $35 por MWh. ¿Debe Boulder construir o comprar?

11. Tri-County G&T vende 150,000 MWh de energía eléctrica por año a Boulder a $75 por MWh, tiene costos fijos de $82.5 millones por año, y tiene costos variables de $25 por MWh. Si Tri-Couny tiene demanda de 1,000,000 MWh de sus clientes (no los de Boulder), ¿cuánto tendría que cobrar Tri-County para salir sin ganar ni perder?

MATRIZ DE PREFERENCIAS

12. La compañía Forsite está revisando tres ideas para nuevos servicios. Las restricciones de recursos solo permiten que por el momento solo una de ellas se comercialice.

Se hicieron las siguientes estimaciones para los cinco criterios de desempeño que la administración piensa que serán más importantes:

	CALIFICACIÓN		
Criterio de desempeño	***Servicio A***	***Servicio B***	***Servicio C***
Inversión de capital en equipo requerida	0.6	0.8	0.3
Retorno esperado sobre la inversión (ROI)	0.7	0.3	0.9
Compatibilidad con habilidades actuales de trabajadores	0.4	0.7	0.5
Ventaja competitiva	1.0	0.4	0.6
Compatibilidad con requerimientos de EPA	0.2	1.0	0.5

a) Calcule la calificación ponderada total para cada alternativa. Utilice una matriz de preferencias y suponga pesos iguales para cada criterio. ¿Qué alternativa es la mejor? ¿Y la peor?

b) Suponga que al ROI esperado se le da el doble de peso que a cada uno de los criterios restantes. (La suma de los pesos debe permanecer igual que en el inciso *a*)). ¿Esta modificación afecta las calificaciones de los tres servicios potenciales?

13. Usted está a cargo de analizar a cinco nuevos proveedores de una materia prima importante y cuenta con la información mostrada en la tabla (1 = peor, 10 = mejor). La administración ha decidido que los criterios 2 y 3 son igualmente importantes y los criterios 1 y 4 son cada uno cuatro veces más importantes que el criterio 2. No *se requieren más de dos nuevos proveedores*, pero cada nuevo vendedor excede una calificación total de 70% del máximo total de puntos a considerar.

	CALIFICACIÓN				
Criterio de desempeño	**Vendedor A**	**Vendedor B**	**Vendedor C**	**Vendedor D**	**Vendedor E**
Calidad de la materia prima	8	7	3	6	9
Impacto ambiental	3	8	4	7	7
Respuesta a los cambios en pedidos	9	5	7	6	5
Costo de la materia prima	7	6	9	2	7

a) ¿Qué vendedores recomendaría?

b) ¿Cambiaría su decisión si los criterios se consideraran igualmente importantes?

14. Accel Express, Inc. recolectó la siguiente información acerca de la localización de un almacén (1 = mala, 10 = excelente):

		CALIFICACIÓN DEL LUGAR	
Factor de localización	**Ponderación del factor**	**A**	**B**
Costos de construcción	10	8	5
Servicios públicos disponibles	10	7	7
Servicios empresariales	10	4	7
Costo de bienes raíces	20	7	4
Calidad de vida	20	4	8
Transporte	30	7	6

a) ¿Cuál localización, A o B, debe elegirse con base en la calificación ponderada total?

b) Si los factores se ponderaran igual, ¿cambiaría la elección?

TEORÍA DE DECISIONES

15. Build-Rite Construction ha recibido publicidad favorable de invitados al programa de mejoramiento de casas de Public TV. Las decisiones de programación de Public TV *parecen ser impredecibles, de manera que* Build-Rite no logra estimar la probabilidad de tener beneficios continuos de la relación con este programa. La demanda de mejoramiento de casas el siguiente año puede ser alta o baja. Build-Rite debe decidir ahora si contratar más empleados, no hacer nada o desarrollar subcontratos con

otros contratistas de mejoramiento de casas. Build-Rite ha desarrollado la siguiente tabla de pagos:

	DEMANDA DE MEJORAS DE CASAS		
Alternativa	**Baja**	**Moderada**	**Alta**
Contratar	($250,000)	$100,000	$625,000
Subcontratar	$100,000	$150,000	$415,000
No hacer nada	$50,000	$80,000	$300,000

¿Qué alternativa es mejor, de acuerdo con cada uno de los siguientes criterios de decisión?

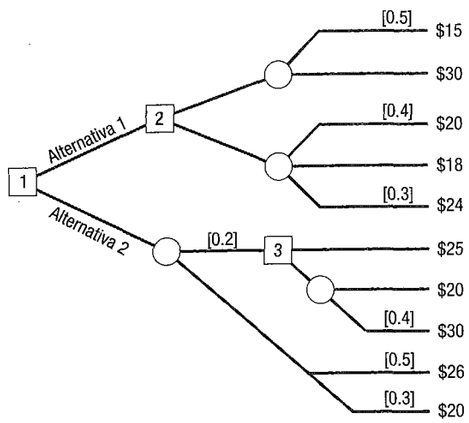
a) Maximin

b) Maximax

c) Laplace

d) Arrepentimiento minimax

16. Analice el árbol de decisiones de la siguiente figura. ¿Cuál es el pago esperado para la mejor alternativa? Primero, asegúrese de inferir las probabilidades que faltan.



17. Un administrador intenta decidir si comprar una máquina o dos. Si solo compra una y la demanda resulta excesiva, la segunda máquina puede comprarse después. Sin embargo, se perderán algunas ventas debido a que el tiempo de entrega para producir este tipo de máquinas es seis meses. Además, el costo por máquina es menor si se compran al mismo tiempo. La probabilidad de una demanda baja se estima en 0.20. El valor presente neto después de impuestos de los beneficios de la compra de dos máquinas juntas es $90,000 si la demanda es baja y $180,000 si la demanda es alta.

Si se compra una máquina y la demanda es baja, el valor presente neto es $120,000. Si la demanda es alta, el administrador tiene tres opciones. No hacer nada tiene un valor presente neto de $120,000; subcontratar, $160,000; comprar la segunda máquina, $140,000.

a) Dibuje el árbol de decisiones para este problema.

b) ¿Cuántas máquinas debe comprar inicialmente la compañía? ¿Cuál es el pago esperado para esta alternativa?

18. Un administrador desea decidir si construir una instalación pequeña, mediana o grande. La demanda puede ser baja, promedio o alta, con probabilidades estimadas de 0.25, 0.40 y 0.35, respectivamente.

Se espera que una instalación pequeña gane un valor presente neto después de impuestos de solo $18,000 si la demanda es baja. Si la demanda es promedio, se espera que la instalación pequeña gane $75,000; puede aumentarse a tamaño mediano para ganar un valor presente neto de $60,000. Si la demanda es alta, se espera que la instalación pequeña gane $75,000 y puede expandirse a tamaño mediano para ganar $60,000 o grande para ganar $125,000.

Si se construye una instalación mediana, se espera que pierda un estimado de $25,000 si la demanda es baja y que gane $140,000 si la demanda es promedio. Si la demanda es alta, se espera que la instalación de tamaño mediano gane un valor presente neto de $150,000; se puede expandir a tamaño grande para un pago neto de $145,000.

Si la instalación grande se construye y la demanda es alta, se espera que las ganancias sean $220,000. Si la demanda es promedio para la instalación grande, se espera que el valor presente neto sea $125,000; si la demanda es baja, se espera que pierda $60,000.

a) Dibuje un árbol de decisiones para este problema.

b) ¿Qué debe hacer la administración para lograr el pago esperado más alto?

c) ¿Qué alternativa es mejor, de acuerdo con cada uno de los siguientes criterios de decisión?

Maximin

Maximax

Arrepentimiento minimax

19. Una planta de manufactura ha alcanzado su capacidad máxima. La compañía debe construir una segunda planta —pequeña o grande— en una localidad cercana. Es posible que la demanda sea alta o baja. La probabilidad de una demanda baja es 0.3. Si la demanda es baja, la planta grande tiene un valor presente neto de $5 millones, y la pequeña un valor presente neto de $8 millones. Si la demanda es alta, la planta grande paga un valor presente neto de $18 millones y la planta pequeña con uno de solo $10 millones. Sin embargo, la planta pequeña puede expandirse más adelante si la demanda resulta alta, para tener un valor presente neto de $14 millones.

a) Dibuje un árbol de decisiones para este problema.

b) ¿Qué debe hacer la administración para lograr el pago esperado más alto?

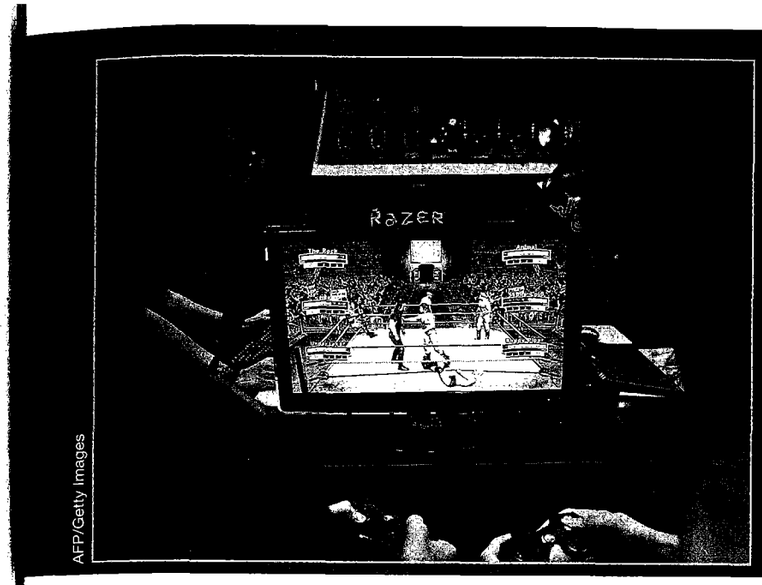
20. Benjamin Moses, jefe de ingeniería en Offshore Chemicals, Inc. debe decidir si construir una nueva instalación de procesamiento basada en una nueva tecnología. Si la nueva instalación funciona, la compañía logrará una ganancia neta de $20 millones. Si la nueva instalación falla, la compañía perderá $10 millones. Benjamin estima que existe una posibilidad de 40% de que la nueva instalación funcione.

¿Qué decisión debe tomar Benjamin Moses?

Referencias seleccionadas

Clemen, Robert T. y Terence Reilly. Making *Hard Decisions with Decision Tools Suite*. Cincinnati, OH: South-Western, 2004.

Ragsdale, Cliff. *Spreadsheet Modeling & Decision Analysis: A Practical Introduction to Management Science*, 6a ed. Cincinnati, OH: South-Western, 2011.



AFP/Getty Images

2 ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS

Dos niños juegan en un Xbox 360 un juego de luchas en el IT Show de 2011 en Singapur.

XBOX 360

Cuatro años después de introducir el Xbox, Microsoft tuvo que diseñar, desarrollar y producir con rapidez un nuevo producto. El PlayStation 2 de Sony dominaba el mercado de juegos de video y Microsoft necesitaba un nuevo producto para competir contra el inminente lanzamiento del PlayStation 3. Desarrollar un producto de ese tipo es un proyecto de proporciones masivas. Éste consistió en cuatro etapas: **1.** diseño, **2.** análisis, **3.** desarrollo y **4.** lanzamiento. El resultado fue Xbox 360.

Diseño

El diseño del Xbox 360 fue un esfuerzo de colaboración entre Microsoft y muchas otras empresas, como Astro Studios, en San Francisco, que diseñó toda la consola y el controlador; IBM diseñó el chip de procesador; ATI, el chip de gráficas y un ejército de empresas de diseño de juegos se enfocaron en el desarrollo de estos para el nuevo producto. Un elemento clave del nuevo producto era el acceso a Internet integrado que permitía a los jugadores acceder a juegos en línea, adquirir complementos de juegos y jugar con múltiples participantes en juegos desarrollados exclusivamente para el Xbox 360. Microsoft también incluyó a sus fabricantes principales, Flextronics y Wistron, en el diseño del proceso para optimizar la producción y ensamble de más de 1,000 partes contenidas en el Xbox 360.

Análisis

Obtener una estimación de las ventas futuras de un nuevo producto siempre es difícil; sin embargo, en este caso los patrones históricos para PlayStation 1, PlayStation 2 y Xbox fueron útiles. Los analistas encontraron que el año pico

para un producto PlayStation fue cuatro años después de su introducción y que el ciclo de vida de esos productos es de alrededor de 11 años. Esta información proporcionó una base para estimar las ventas potenciales del Xbox 360, aunque las ventas reales pueden estar limitadas por las restricciones de abastecimiento. De cualquier manera, Microsoft se dio cuenta de que el potencial estaba ahí para abrir una nueva generación de consolas de juegos muy adelantada en el mercado.

Desarrollo

Microsoft trabajó muy de cerca con Flextronics, Wistron y varias empresas de diseño para resolver problemas de manufactura en las primeras etapas de fabricación del Xbox 360. Una vez que la producción inicial estaba en camino, Microsoft trajo a Celestica para agregar capacidad de producción. La decisión se tomó para centrar las operaciones en China. Así, 10,000 trabajadores en China estarían involucrados en la producción de Xbox 360.

Lanzamiento

El Xbox 360 de Microsoft ganó pronto el liderazgo en términos de porcentaje de mercado debido, en parte, a su pronta fecha de lanzamiento, que fue un año antes que sus rivales PlayStation 3 y Wii. Con esto, el producto se liberó en 36 países durante el primer año de producción, un esfuerzo hercúleo que requirió una extensa coordinación y un alto nivel de habilidades en administración de proyectos. Las ventas del Xbox 360 excedieron las expectativas por más de 10 millones de unidades vendidas tan solo el primer año. De todas formas, Microsoft tuvo dificultades para hacer que la cadena de suministro cumpliera con las demandas del cliente de manera oportuna. La lección aprendida es que los proyectos se pueden planear y ejecutar de modo apropiado, no obstante, la infraestructura subyacente que entrega el producto es igualmente importante para el éxito final del proyecto.

Fuente: David Holt, Charles Holloway y Hau Lee, "Evolution of the Xbox Supply Chain", Stanford Graduate School of Business, Case: GS-49 (14 de abril, 2006); "Xbox 360", Wikipedia, the free encyclopedia, **http://en.wikipedia.org/wiki/Xbox_360.**

METAS DE APRENDIZAJE *Después de estudiar este capítulo, usted será capaz de:*

1. Definir las principales actividades asociadas con definir, organizar, planear, monitorear y controlar proyectos.
2. Diagramar la red de actividades interrelacionadas en un proyecto.
3. Identificar la secuencia de actividades críticas que determina la duración del proyecto.
4. Explicar cómo se determina un programa de proyecto de costo mínimo.
5. Describir las consideraciones que los administradores hacen al evaluar los riesgos del proyecto y calcular la probabilidad de terminar el proyecto a tiempo.
6. Definir las opciones disponibles para aliviar los problemas de recursos.

proyecto

Conjunto interrelacionado de actividades con un inicio definido y un punto de terminación, que proporciona un resultado único para una asignación específica de recursos.

Compañías como Microsoft son expertas en el manejo de proyectos como Xbox 360. Dominan la habilidad para programar actividades y monitorear el progreso dentro de guías estrictas de tiempo, costo y desempeño. Un **proyecto** es un conjunto de actividades interrelacionadas con un inicio definido y un punto terminal que da un resultado único para una asignación específica de los recursos.

Los proyectos son comunes en la vida diaria, al igual que en los negocios. La planeación de bodas, remodelación de baños, escribir un artículo y organizar una fiesta sorpresa son ejemplos de pequeños proyectos de todos los días. Realizar auditorías en una compañía, planear fisiones, crear campañas de publicidad, hacer reingeniería a los procesos, desarrollar nuevos servicios o productos y establecer una alianza estratégica son ejemplos de grandes proyectos en los negocios.

Las tres metas principales de cualquier proyecto son: **1.** terminar el proyecto a tiempo o antes, **2.** no exceder el presupuesto y **3.** cumplir con las especificaciones para la satisfacción del cliente. Cuando emprendemos proyectos con cierta incertidumbre, no hace daño tener flexibilidad respecto a la disponibilidad de recursos, fechas de entrega y presupuestos. En consecuencia, el manejo de los proyectos puede ser un reto. La **administración de proyectos**, que es un enfoque sistematizado, en etapas, para definir, organizar, planear, monitorear y controlar proyectos, es una manera de superar ese reto.

administración de proyectos

Enfoque sistematizado, en etapas para definir, organizar, planear, monitorear y controlar proyectos.

Con frecuencia, los proyectos cruzan las líneas organizacionales porque necesitan habilidades de múltiples profesiones y organizaciones. Más aún, cada proyecto es único aunque sea rutinario, ya que requiere nuevas combinaciones de habilidades y recursos en sus procesos. Por ejemplo, los proyectos para abrir una nueva sucursal, instalar nuevas computadoras en un departamento o desarrollar una promoción de ventas pueden iniciar varias veces al año. Cada proyecto quizá se haya realizado muchas veces; sin embargo, surgen diferencias en cada réplica. Las incertidumbres, como el advenimiento de nuevas tecnologías o las actividades de los competidores, pueden cambiar el carácter de los proyectos y requerir contramedidas como respuesta. Por último, los proyectos son temporales debido a que el personal, los materiales y las instalaciones se organizan para completarlos dentro de un tiempo específico y luego se disuelven.

Los proyectos, y las aplicaciones de la administración de proyectos, facilitan la implementación de estrategias. No obstante, el poder de este enfoque va más allá de un proyecto. Las iniciativas de estrategias operacionales a menudo requieren la coordinación de muchos proyectos independientes. Una colección de proyectos se llama **programa**, que es un conjunto interdependiente de proyectos con un propósito estratégico común. Cuando llegan nuevas propuestas, la administración debe evaluar cuánto se ajustan a la estrategia de operaciones actual y las iniciativas en marcha y tienen la facultad de priorizarlos porque los fondos de los proyectos suelen ser limitados. Por ejemplo, los proyectos que incluyen la implementación de importantes tecnologías de la información pueden afectar todos los procesos centrales y de apoyo de la empresa, lo mismo que algunos procesos de proveedores y clientes. Como tales, los proyectos son una herramienta útil para mejorar procesos y cadenas de suministros.

programa

Conjunto interdependiente de proyectos que tienen un propósito estratégico común.

Administración de proyectos en toda la organización

Aun cuando un proyecto esté dentro del ámbito de un solo departamento, es posible que otros departamentos participen. Por ejemplo, considere un proyecto de sistemas de información para desarrollar una base de datos de clientes corporativos en un banco. Muchos de los clientes del banco son grandes corporaciones que requieren servicios de varios departamentos del banco. Como ningún departamento del banco conoce con exactitud qué servicios recibe un cliente corporativo de otros departamentos, el proyecto consolidaría información de estos clientes de muchas áreas del banco en una base de datos. Con esta información, los servicios bancarios corporativos se pueden diseñar no solo para servir mejor al cliente, sino también para proporcionar una base para evaluar los precios que cobra el banco. Marketing está interesado en conocer todos los servicios que recibe su cliente para poder ofrecer un paquete y vender otros servicios que escapen al conocimiento del cliente. Finanzas se interesa en el rendimiento de un cliente para el banco y si los servicios proporcionados tienen el precio correcto. El equipo del proyecto, guiado por el departamento de sistemas de información, debe consistir en representantes de los departamentos de marketing y finanzas que tienen intereses directos con los clientes corporativos. Todos los departamentos de una empresa se benefician con las prácticas sólidas de administración de proyectos, incluso cuando los proyectos permanezcan en el ámbito de un solo departamento.

Definición y organización de proyectos

Una comprensión clara de la organización de un proyecto y la manera en que el personal trabajará en conjunto para completarlo son la clave del éxito. En esta sección abordamos: **1.** definición del alcance y los objetivos, **2.** selección del administrador del proyecto y el equipo y **3.** reconocimiento de la estructura organizacional.

Definición del alcance y los objetivos de un proyecto

Una declaración completa del alcance, marco de tiempo y recursos asignados para un proyecto es esencial para administrarlo. Con frecuencia, se hace referencia a ella como *declaración del objetivo de un proyecto*. El alcance proporciona una declaración sucinta de los objetivos del proyecto y capta la esencia del resultado deseado en la forma de las entregas más importantes, que son los resultados concretos del proyecto. Es inevitable que los cambios en el alcance del proyecto aumenten los costos y retrasen la terminación. De manera colectiva, los cambios en el alcance se conocen

Creación de valor mediante la administración de operaciones

↓

Utilización de las operaciones para competir

Administración de proyectos

Administración de procesos

↓

Estrategia de procesos
Análisis de procesos
Calidad y desempeño
Planeación de la capacidad
Administración de restricciones
Sistemas esbeltos

Administración de la cadena de suministro

↓

Administración del inventario de la cadena de suministro
Diseño de la cadena de suministro
Decisiones de localización de la cadena de suministro
Integración de la cadena de suministro
Sustentabilidad de la cadena de suministro y logística humanitaria
Pronósticos
Planeación y programación de las operaciones
Planeación de recursos

como *arrastre del alcance* y, en cantidad suficiente, son las primeras causas de que los proyectos fracasen. El marco de tiempo para un proyecto debe ser tan específico como sea posible, como "el proyecto debe terminar para el 1 de enero de 2014". Por último, aunque especificar una asignación de recursos a un proyecto puede ser difícil en las primeras etapas de planeación, es importante para administrar el proyecto. La asignación debe expresarse en dinero o como el equivalente en tiempo de personal. Una declaración específica de recursos asignados permite hacer ajustes al alcance del proyecto conforme avanza.

Selección del administrador del proyecto y el equipo

Una vez seleccionado el proyecto, debe elegirse un administrador de proyecto, cuyas cualidades deben ser acordes a los roles que debe desempeñar.

- *Facilitador.* El administrador del proyecto, con frecuencia, debe resolver conflictos entre individuos y departamentos para asegurar que el proyecto tenga los recursos adecuados para terminar el trabajo. Los administradores de proyectos exitosos tienen buenas habilidades de liderazgo y una *visión de sistemas*, que abarca la interacción del proyecto, sus recursos y lo que se entrega con la empresa en su conjunto.
- *Comunicador.* El avance del proyecto y las peticiones de recursos adicionales deben comunicarse con claridad a la alta administración y otras personas con intereses en el proyecto. El administrador también se comunica con el equipo del proyecto para obtener el mejor desempeño.
- *Tomador de decisiones.* Los buenos administradores de proyectos son sensibles a la forma en que el equipo se desempeña mejor y están listos para tomar decisiones difíciles, si es necesario. El administrador del proyecto debe organizar juntas con el equipo, especificar cómo se tomarán las decisiones y determinar la naturaleza y el tiempo de los reportes a la alta administración.

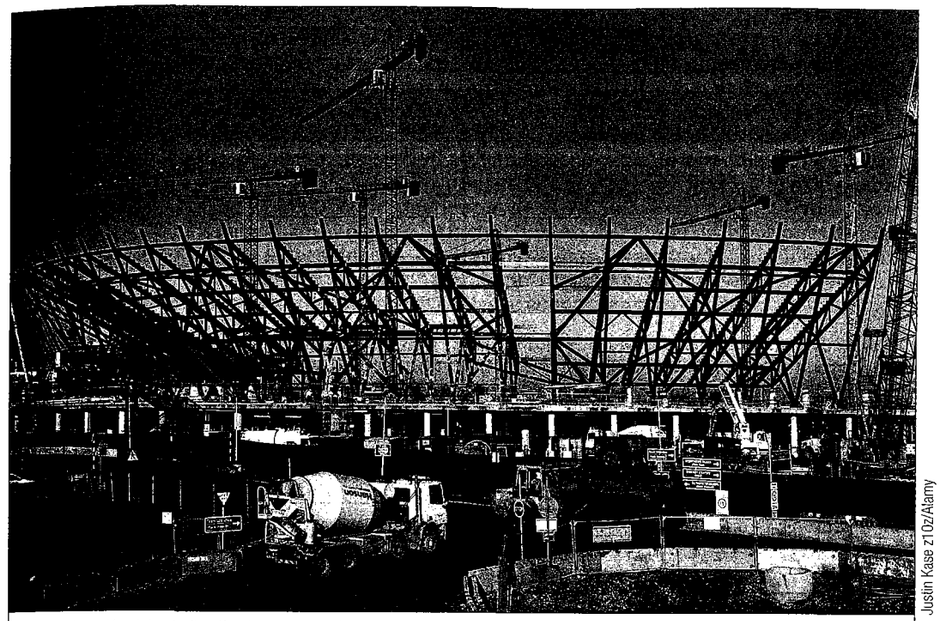
Seleccionar el equipo de trabajo es tan importante como la selección del administrador del proyecto. Deben considerarse varias características:

- *Competencia técnica.* Los miembros del equipo deben tener la competencia técnica requerida para las tareas a las que serán asignados.
- *Sensibilidad.* Todos los miembros del equipo deben ser sensibles a los conflictos interpersonales que puedan surgir. Los miembros con más antigüedad deben ser políticamente sensibles para ayudar a mitigar problemas con la alta administración.
- *Dedicación.* Los miembros del equipo tienen que sentirse cómodos resolviendo problemas que podrían llegar a otras áreas fuera de su experiencia inmediata. Deben también estar dedicados a la realización del proyecto, en contraposición con mantener un horario de trabajo confortable.

Reconocimiento de la estructura organizacional

La relación del administrador del proyecto con el equipo del proyecto está determinada por la estructura organizacional de la empresa. Cada uno de los tres tipos de estructura organizacional descritos tiene sus propias implicaciones para el administrador del proyecto.

- *Funcional.* El proyecto está inmerso en un departamento o área funcional específica, supuestamente la que tiene más intereses en el proyecto. La ayuda del personal de otras áreas debe negociarla el administrador del proyecto. En esos casos, el administrador del proyecto tiene menos control sobre los tiempos del mismo si el alcance de todo el proyecto cae en el ámbito del departamento.
- *Proyecto puro.* Los miembros del equipo trabajan exclusivamente para el administrador del proyecto en un proyecto en particular. Esta estructura simplifica las líneas de autoridad y es en particular efectiva para proyectos grandes que contienen suficiente trabajo para que cada miembro del equipo trabaje tiempo completo. Para proyectos pequeños, el resultado podría ser duplicación significativa de recursos a través de las áreas funcionales.
- *Matriz.* La estructura de matriz es un compromiso entre la funcional y la de proyecto puro. Los administradores de los proyectos de la empresa reportan todos a un "administrador de programa" que coordina los recursos y las necesidades tecnológicas a través de las fronteras funcionales. La estructura matricial permite a cada área funcional mantener el control sobre quién trabaja en un proyecto y la tecnología que se usa. Sin embargo, los miembros del equipo, de hecho, tienen dos jefes: el administrador del proyecto y el administrador del departamento. Resolver estos conflictos de "líneas de autoridad" requiere un administrador del proyecto fuerte.



Justin Kase z10z/Alamy

La construcción del estadio olímpico 2012 en Stratford, en el este de Londres, requirió la coordinación de materiales, equipo y personal. Las técnicas de administración de proyectos tuvieron un papel importante.

Planeación de proyectos

Una vez que se define y organiza un proyecto, el equipo debe formular un plan que identifique el trabajo específico que debe lograrse y una programación para terminarlo. La planeación de proyectos incluye cinco pasos: **1.** definir la estructura desglosada de trabajo, **2.** diagramar la red, **3.** desarrollar la programación, **4.** analizar la relación tiempo-costo y **5.** evaluar los riesgos.

Definición de la estructura desglosada de trabajo

La **estructura de trabajo desglosada (EDT)** es una declaración de todo el trabajo que debe completarse. Quizá el factor más importante para el retraso es la omisión de trabajo que es pertinente para terminar con éxito el proyecto. El administrador del proyecto debe trabajar de cerca con el equipo para identificar todas las actividades. Una **actividad** es la unidad más pequeña del esfuerzo de trabajo que consume tanto tiempo como recursos que el administrador del proyecto puede programar y controlar. En general, en el proceso de acumular actividades, el equipo genera una jerarquía en el desglose de trabajo. Los componentes importantes se desglosan hasta las tareas más pequeñas que en última instancia se dividen en actividades que se asignan a individuos. La figura 2.1 muestra una EDT para un proyecto importante que involucra la reubicación de un hospital. Por el interés de servir mejor a la comunidad, el consejo directivo del Hospital St. John ha decidido cambiarlo a un nuevo lugar. El proyecto incluye construir un nuevo hospital y volverlo operativo. Los componentes de trabajo en el nivel 1 en la EDT se pueden desglosar en unidades más pequeñas de trabajo en el nivel 2 que puede dividirse más en el nivel 3, hasta que el administrador del proyecto llegue a actividades en el nivel de detalle que se programa y controla. Por ejemplo, "organizar y preparar el sitio" se dividió en seis actividades en el nivel 2 de la figura 2.1. Simplificamos el ejemplo para hacer más comprensible el concepto de la EDT. Si las actividades del ejemplo se dividen en unidades aún más pequeñas, es fácil ver que la EDT total para un proyecto de este tamaño puede incluir mucho más de 100 actividades. Sin importar el proyecto, debe tenerse cuidado de incluir todas las actividades relevantes en la EDT para evitar retrasos. Con frecuencia, se pasan por alto las actividades requeridas para planear el proyecto, obtener la aprobación de la administración en varias etapas, hacer pruebas de nuevos servicios o productos y preparar los informes finales.

Cada actividad en la EDT debe tener un "dueño" que es responsable de hacer el trabajo. La *propiedad de la actividad* evita confusión en la ejecución de actividades y asigna la responsabilidad de la terminación a tiempo. El equipo debe tener un procedimiento definido para asignar actividades a sus miembros, que puede ser democrática (por consenso del equipo) o autocrática (asignada por el administrador del proyecto).

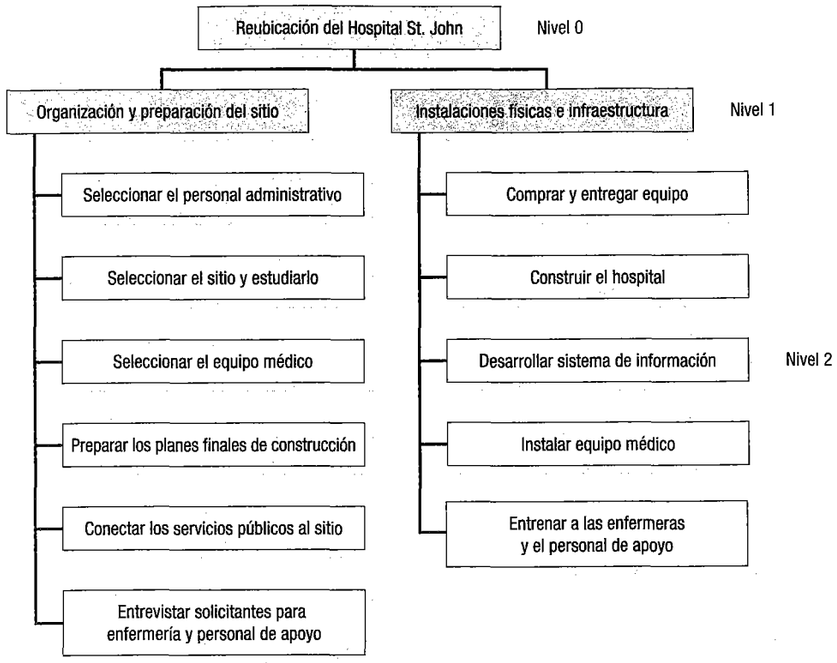
estructura desglosada de trabajo (EDT)

Una declaración de todo el trabajo que debe realizarse.

actividad

La unidad más pequeña del esfuerzo de trabajo que consume tanto tiempo como recursos que el administrador del proyecto debe programar y controlar.

▶ **FIGURA 2.1**
Estructura desglosada de trabajo para el proyecto del Hospital St. John



Diagramación de redes

Los métodos de planeación de redes ayudan a los administradores a monitorear y controlar proyectos. Estos métodos tratan a un proyecto como un conjunto de actividades interrelacionadas que se pueden desplegar visualmente como un **diagrama de red**, que consiste en nodos (círculos) y arcos (flechas) para describir la relación entre las actividades. Dos métodos de planeación de redes se desarrollaron en la década de los 50. La **técnica de revisión y evaluación de proyectos** (**PERT**, *program evaluation and review technique*) se creó para el proyecto del misil Polaris de la Marina de Estados Unidos, que involucró a 3,000 contratistas y proveedores diferentes. El **método de la ruta crítica** (**CPM**, *critical path method*) se desarrolló como un medio para programar los paros de mantenimiento en plantas de procesos químicos. Aunque las primeras versiones de PERT y CPM diferían en el tratamiento de las estimaciones de los tiempos de las actividades, hoy las diferencias son menores. Para fines de nuestro estudio, nos referimos a ellos como PERT/CPM. Estos métodos ofrecen varios beneficios para los administradores de proyectos, que incluyen lo siguiente:

diagrama de red
Es un método de planeación de redes diseñado para describir la relación entre las actividades, este consiste en nodos (círculos) y arcos (flechas).

técnicas de revisión y evaluación de programas (PERT)
Es un método de planeación de redes creado para el proyecto Polaris de la Marina de Estados Unidos en la década de 1950, que involucró a 3,000 contratistas y proveedores diferentes.

método de la ruta crítica (CPM)
Método de planeación de redes desarrollado en la década de 1950 como medio para programar los *paros de mantenimiento* de plantas de procesos químicos.

1. Considerar los proyectos como redes, fuerza a los equipos del proyecto a identificar y organizar los datos requeridos para identificar las interrelaciones entre las actividades. Este proceso también proporciona un foro para los administradores de diversas áreas funcionales para discutir la naturaleza de las diferentes actividades y sus requerimientos de recursos.
2. Las redes permiten a los administradores de proyectos estimar el tiempo de terminación de los proyectos, una ventaja que puede ser útil en la planeación de otros eventos, y a realizar negociaciones contractuales con los clientes y proveedores.
3. Los informes resaltan las actividades que son cruciales para completar los proyectos a tiempo. También resaltan las actividades que pueden retrasarse sin afectar las fechas de terminación, liberando con ello recursos para otras actividades más críticas.
4. Los métodos de redes permiten a los administradores de proyectos analizar las implicaciones de tiempo y costo en los intercambios de recursos.

Diagramar la red de un proyecto implica establecer las relaciones de precedencia y estimar los tiempos de las actividades.

Establecer relaciones de precedencia Una **relación de precedencia** determina una secuencia para iniciar las actividades; especifica que una actividad no puede comenzar hasta que la actividad precedente haya terminado. Por ejemplo, los folletos que anuncian una conferencia para ejecutivos debe estar diseñada por el comité del programa (actividad A) antes de que la puedan imprimir (actividad B). En otras palabras, la actividad A debe *preceder* a la actividad B. Para proyectos grandes, establecer relaciones de precedencia es esencial porque el resultado de relaciones de precedencia incorrectas u omitidas originarán retrasos costosos. Las relaciones de precedencia están representadas en los diagramas de red.

relación de precedencia
Es una relación que determina una secuencia para emprender actividades; especifica que una actividad no puede iniciar hasta que la actividad precedente haya terminado.

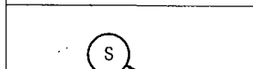
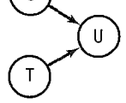
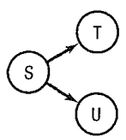
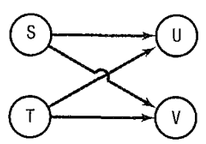
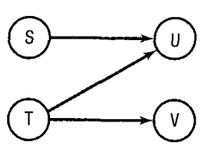
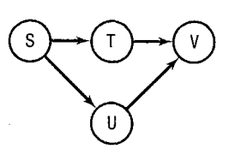
Estimación de tiempos de actividades Cuando se ha realizado muchas veces el mismo tipo de actividad, las estimaciones de los tiempos tendrán un alto grado de certidumbre. Existen varios caminos para obtener las estimaciones en un entorno así. Primero, se pueden aplicar métodos estadísticos si el equipo del proyecto tiene acceso a los datos de los tiempos de actividades reales experimentados en el pasado (vea el suplemento H de MyOMLab, "Medición de tasas de salida"). Segundo, si los tiempos de actividad mejoran con el número de réplicas, se estiman usando los modelos de curva de aprendizaje (vea el suplemento I de MyOMLab, "Análisis de curva de aprendizaje"). Por último, los tiempos para actividades que se hacen por "primera vez" con frecuencia se estiman mediante la opinión de administradores con base en experiencias similares (vea el capítulo 14, "Pronósticos"). Si las estimaciones involucran un alto grado de incertidumbre, se utilizan distribuciones de probabilidad para los tiempos de las actividades. Analizaremos cómo incorporar la incertidumbre en las redes de proyectos cuando abordemos la evaluación del riesgo más adelante en este capítulo. Por ahora, suponemos que los tiempos de las actividades se conocen con certidumbre.

MyOMLab

Uso del enfoque de actividades en los nodos El enfoque para elaborar el diagrama que se usa en el libro es el de **red de actividades en los nodos (AON)**, en el que los nodos representan las actividades y los arcos las relaciones de precedencia entre ellas. Se deben utilizar algunas convenciones de los diagramas para las redes AON. En caso de actividades múltiples sin predecesores, es usual mostrarlos saliendo de un nodo común llamado *inicio*. Para múltiples actividades sin sucesores, es usual mostrarlas conectadas a un nodo llamado *terminación*. La figura 2.2 muestra cómo diagramar varias relaciones entre actividades.

red de actividades en los nodos (AON)
Es un enfoque usado para crear un diagrama de red, en el que los nodos representan actividades y los arcos representan las relaciones de *precedencia entre ellas*.

◀ **FIGURA 2.2**
Diagramación de relaciones entre actividades

AON	Relaciones entre actividades
	S precede a T, que precede a U.
	S y T deben estar terminadas antes de iniciar U.
	T y U no pueden iniciar hasta que S esté terminada.
	U y V no pueden comenzar hasta que S y T terminen.
	U no puede iniciar hasta que S y T terminen. V no puede iniciar hasta que T termine.
	T y U no pueden iniciar hasta que S termine y V no puede iniciar hasta que T y U terminen.

EJEMPLO 2.1 **Diagramación del proyecto del Hospital St. John**

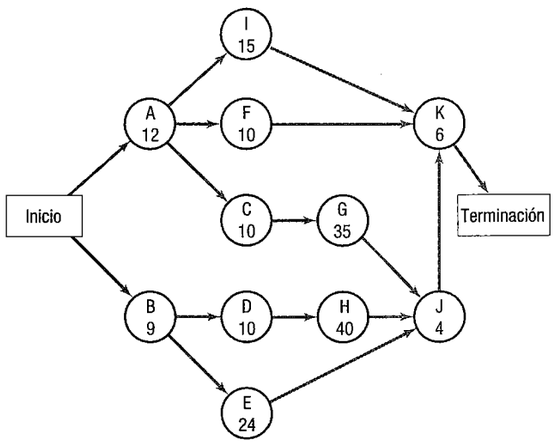
Judy Kramer, administradora del proyecto del Hospital St. John, dividió el proyecto en dos grandes módulos. Asignó a John Stewart la responsabilidad global del módulo para organizar y preparar el sitio y a Sarah Walker la responsabilidad del módulo de instalaciones físicas e infraestructura. Usando la EDT de la figura 2.1, el equipo del proyecto desarrolló las relaciones de precedencia, las estimaciones de tiempo de las actividades y las responsabilidades mostradas en la siguiente tabla:

Actividad	Predecesores inmediatos	Tiempos de actividad (semanas)	Responsabilidad
PROYECTO DEL HOSPITAL ST. JOHN			Kramer
INICIO		0	
ORGANIZACIÓN Y PREPARACIÓN DEL SITIO			Stewart
A. Seleccionar personal administrativo	Inicio	12	Johnson
B. Seleccionar sitio y estudio	Inicio	9	Taylor
C. Seleccionar equipo médico	A	10	Adams
D. Preparar planes finales de construcción	B	10	Taylor
E. Conectar servicios públicos	B	24	Burton
F. Entrevistar solicitantes para enfermería y personal de apoyo	A	10	Johnson
INSTALACIONES FÍSICAS E INFRAESTRUCTURA			Walker
G. Compra y entrega de equipo	C	35	Sampson
H. Construir hospital	D	40	Casey
I. Desarrollar sistema de información	A	15	Murphy
J. Instalar equipo médico	E, G, H	4	Pike
K. Capacitar enfermeras y personal de apoyo	F, I, J	6	Ashton
TERMINACIÓN	K	0	

Para propósito de este ejemplo, suponemos una semana de trabajo de cinco días. Dibuje el diagrama de red para el proyecto del hospital.

SOLUCIÓN

El diagrama de red, las actividades y sus tiempos para el proyecto del hospital se muestran en la figura 2.3. El diagrama describe las actividades como círculos y los arcos indican la secuencia en la que deben realizarse. Las actividades A y B salen del nodo de *inicio* porque no tienen predecesores inmediatos. Las flechas que conectan la actividad A con C, F e I indican que los tres requieren la terminación de la actividad A antes de comenzar. De igual manera, la actividad B debe terminar antes de que D y E puedan comenzar, y así sucesivamente. La actividad K conecta a un nodo de *terminación* porque no la sigue otra actividad. Los nodos de inicio y terminación en realidad no representan actividades: solo proporcionan los puntos de inicio y terminación de la red.



▲ **FIGURA 2.3**
Red que muestra los tiempos de las actividades para el proyecto del Hospital St. John

Desarrollo de la programación

Una ventaja importante de los métodos de planeación de redes es la creación de una programación de las actividades del proyecto que ayudará al administrador a lograr sus objetivos. Los administradores pueden: **1.** estimar el tiempo de terminación de un proyecto encontrando la ruta crítica, **2.** identificar los tiempos de inicio y terminación para cada actividad y obtener la programación del proyecto y **3.** calcular la cantidad de tiempo de holgura para cada actividad.

Ruta crítica Un aspecto crucial de la administración de proyectos es estimar su tiempo de terminación. Si cada actividad de la relocalización del hospital se realizara en secuencia, con trabajo que precede a solo una actividad a la vez, el tiempo de terminación sería igual a la suma de los tiempos de todas las actividades, o 175 semanas. Sin embargo, la figura 2.3 indica que algunas de ellas se pueden realizar al mismo tiempo, con los recursos adecuados. Llamamos a cada secuencia de actividades entre el inicio del proyecto y la terminación, una **ruta**. La red que describe el proyecto de reubicación del hospital tiene cinco rutas: **1.** A–I–K, **2.** A–F–K, **3.** A–C–G–J–K, **4.** B–D–H–J–K y **5.** B–E–J–K. La **ruta crítica** es la secuencia de actividades entre el inicio y la terminación del proyecto que toma el mayor tiempo para completarse. Así, las actividades en la ruta crítica determinan el tiempo de terminación del proyecto; es decir, si una de las actividades en la ruta crítica se retrasa, todo el proyecto se demorará. Los tiempos estimados para las rutas del proyecto del hospital son:

Ruta	Tiempo estimado (semanas)
A–I–K	33
A–F–K	28
A–C–G–J–K	67
B–D–H–J–K	69
B–E–J–K	43

Se estima que la cadena de actividades B–D–H–J–K tomará 69 semanas para completarse. Como es la más larga, constituye la ruta crítica. Puesto que la ruta crítica define el tiempo de terminación del proyecto, Judy Kramer y el equipo del proyecto deberían enfocarse en estas actividades y cualquier otra ruta que tenga una duración cercana.

Programación del proyecto El objetivo típico es terminar el proyecto tan pronto como se pueda, según lo determina la ruta crítica. La programación del proyecto se especifica por los tiempos de inicio y terminación de cada actividad. Para cualquier actividad, los administradores deben usar los tiempos de inicio y terminación más cercanos, los tiempos de inicio y terminación más lejanos (y todavía terminar el proyecto a tiempo) o los tiempos entre estos extremos.

- *Tiempos de inicio y de terminación más cercanos.* Los tiempos de inicio y de terminación más cercanos se obtienen como sigue:

  1. El **tiempo de terminación más cercano (EF,** *earliest finish time*) de una actividad es igual a su tiempo de inicio cercano más su duración estimada, *t*, o sea, EF = ES + *t*.

  El **tiempo de inicio más cercano (ES,** *earliest start time*) para una actividad es el tiempo de terminación más cercano a la actividad precedente inmediata. Para las actividades con más de un predecesor, ES es el más lejano de los tiempos de terminación cercanos de las actividades precedentes.

  Para calcular la duración del proyecto completo, determinamos el EF para la última actividad en la ruta crítica.

- *Tiempos de inicio y de terminación más lejanos.* Para obtener los tiempos de inicio y terminación más lejanos, debemos trabajar hacia atrás desde el nodo de terminación. Comenzamos por establecer el tiempo de terminación más lejano del proyecto igual al tiempo de terminación más cercano de la última actividad en la ruta crítica.

  1. El **tiempo de terminación lejano (LF,** *latest finish time*) para una actividad es el tiempo de inicio más lejano de la actividad inmediata siguiente. Para actividades con más de una actividad siguiente, LF es el más temprano de los inicios lejanos de esas actividades.

  2. El **tiempo de inicio más lejano (LS,** *latest start time*) para una actividad es igual a su tiempo de terminación lejano menos su duración estimada, *t*, o sea, LS = LF – *t*.

ruta
Es la secuencia de actividades entre el inicio y la terminación del proyecto.

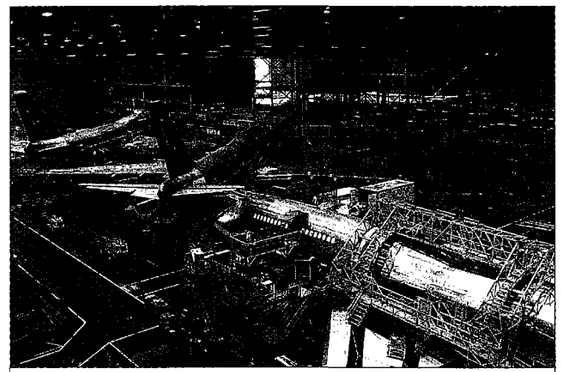
ruta crítica
La secuencia de actividades entre el inicio y la terminación del proyecto que requiere más tiempo en su conclusión.

tiempo de terminación más cercano (EF)
Tiempo de inicio más cercano de una actividad más su duración estimada, *t*, o EF = ES + *t*.

tiempo de inicio más cercano (ES)
Tiempo de terminación más cercano de la actividad predecesora inmediata.

tiempo de terminación más lejano (LF)
Tiempo de inicio más lejano de la actividad inmediata siguiente.

tiempo de inicio más lejano (LS)
Tiempo de terminación más lejano menos su duración estimada, *t*, o LS = LF – *t*.



George Hall/Corbis

La construcción de un avión es un ejemplo de un proyecto grande que requiere una programación sólida del proyecto debido al capital involucrado. En la foto, varios 747 están en construcción en la planta de Boeing de Everett, Washington.

EJEMPLO 2.2 Cálculo de los tiempos de inicio y terminación para las actividades

Calcule los tiempos ES, EF, LS y LF para cada actividad del proyecto del hospital. ¿Qué actividad debe iniciar Kramer de inmediato? La figura 2.3 contiene los tiempos de las actividades.

SOLUCIÓN

Para calcular los tiempos de inicio y terminación más cercanos, comenzamos en el nodo inicio en el tiempo cero. Como las actividades A y B no tienen predecesores, los tiempos de inicio más cercanos para estas actividades también son cero. Los tiempos de terminación más cercanos para estas actividades son:

$$EF_A = 0 + 12 = 12 \quad \text{y} \quad EF_B = 0 + 9 = 9$$

Como el tiempo de inicio más cercano para las actividades I, F y C es el tiempo de terminación cercana para la actividad A,

$$ES_I = 12, \quad ES_F = 12, \quad \text{y} \quad ES_C = 12$$

De manera similar:

$$ES_D = 9 \quad \text{y} \quad ES_E = 9$$

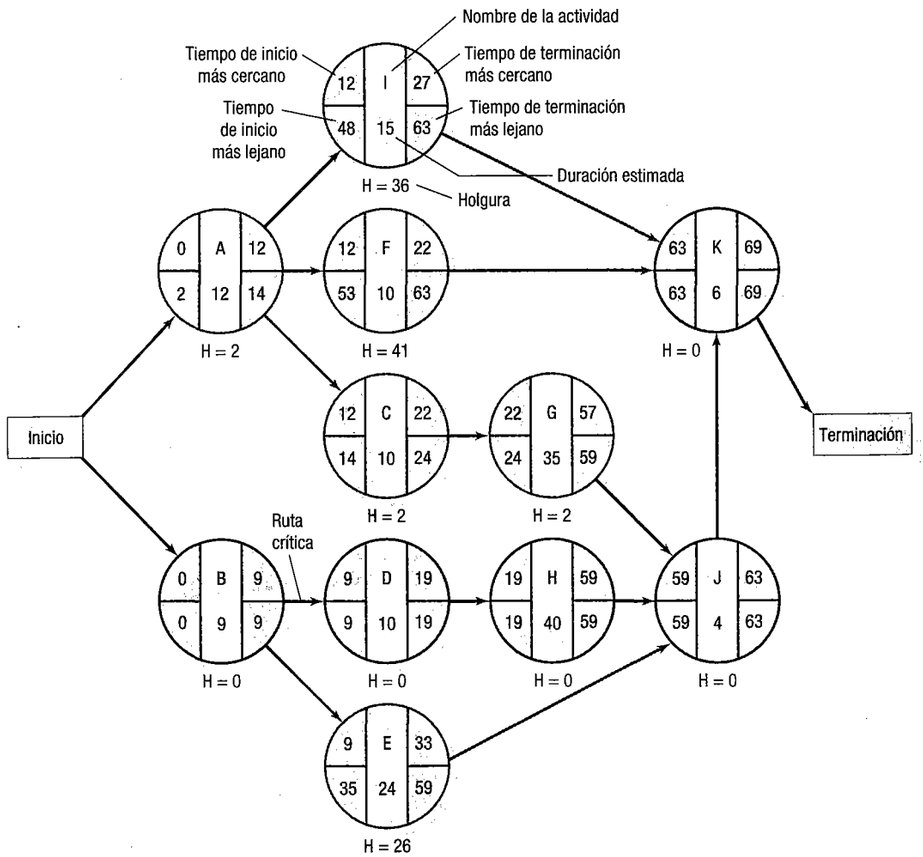
Después de colocar estos valores de ES en el diagrama de red (vea la figura 2.4), determinamos los tiempos EF para las actividades I, F, C, D, y E:

$$EF_I = 12 + 15 = 27, \quad EF_F = 12 + 10 = 22, \quad EF_C = 12 + 10 = 22,$$
$$EF_D = 9 + 10 = 19 \quad \text{y} \quad EF_E = 9 + 24 = 33$$

El inicio más cercano para la actividad G es la terminación cercana de todas las actividades predecesoras inmediatas. Entonces,

$$ES_G = EF_C = 22, \quad ES_H = EF_D = 19$$
$$EF_G = ES_G + t = 22 + 35 = 57, \quad EF_H = ES_H + t = 19 + 40 = 59$$

▶ **FIGURA 2.4**
Diagrama de red que muestra los tiempos de inicio y terminación, así como la holgura de cada actividad



El equipo del proyecto puede ahora determinar el tiempo más cercano en el que comenzará cualquier actividad. Como la actividad J tiene varios predecesores, el tiempo cercano en que la actividad J puede comenzar es el más lejano de los tiempos EF entre todas las actividades predecesoras: EF_G, EF_H o EF_E. Así, $EF_J = 59 + 4 = 63$. Similarmente, $ES_K = 63$ y $EF_K = 63 + 6 = 69$. Como la actividad K es la última actividad de la ruta crítica, lo más pronto que el proyecto se terminará es la semana 69. Los tiempos de inicio y terminación más cercanos para todas las actividades se muestran en la figura 2.4.

Para calcular los tiempos de inicio y terminación lejanos, comenzamos estableciendo el tiempo de terminación lejano de la actividad K en la semana 69, que es el tiempo de terminación más cercano, como se determinó en la figura 2.4. Entonces, el tiempo de inicio más lejano para la actividad K es

$$LS_K = LF_K - t = 69 - 6 = 63$$

Si la actividad K debe comenzar no más tarde que la semana 63, todos su predecesores deben haber concluido cuando mucho en ese tiempo. En consecuencia,

$$LF_I = 63, \quad LF_F = 63 \quad \text{y} \quad LF_J = 63$$

Los tiempos de inicio más lejanos de esas actividades se muestran en la figura 2.4 como

$$LS_I = 63 - 15 = 48, \quad LS_F = 63 - 10 = 53 \quad \text{y} \quad LS_J = 63 - 4 = 59$$

Después de obtener LS_J podemos calcular el inicio más lejano de los predecesores inmediatos de la actividad J:

$$LS_G = 59 - 35 = 24, \quad LS_H = 59 - 40 = 19 \quad \text{y} \quad LS_E = 59 - 24 = 35$$

De la misma manera, ahora podemos calcular los tiempos de inicio más lejanos de las actividades C y D:

$$LS_C = 24 - 10 = 14 \quad \text{y} \quad LS_D = 19 - 10 = 9$$

La actividad A tiene más de una actividad sucesora: I, F y C. El tiempo más temprano entre los tiempos de inicios lejanos de estas actividades es 14 para la actividad C. Así,

$$LS_A = 14 - 12 = 2$$

De igual manera, la actividad B tiene dos sucesores inmediatos: D y E. Como el más cercano de los tiempos de inicio lejanos de estas actividades es 9,

$$LS_B = 9 - 9 = 0$$

PUNTO DE DECISIÓN

Los tiempos de inicio más cercanos o lejanos se utilizan para desarrollar una programación del proyecto. Por ejemplo, Kramer debe iniciar la actividad B de inmediato porque el tiempo de inicio más lejano es 0; de otra manera el proyecto no terminará en la semana 69. Cuando el LS es mayor que el ES para una actividad, esa actividad puede programarse para cualquier tiempo entre ES e LS. Esto ocurre con la actividad E, que puede programarse para iniciar en cualquier semana en la 9 y la 35, dependiendo de la disponibilidad de recursos. El inicio cercano y el inicio lejano para todas las actividades se muestran en la figura 2.4.

Holgura de una actividad El tiempo máximo que una actividad se puede retrasar sin demorar todo el proyecto se llama **holgura de la actividad**. Por tanto, las *actividades que están en la ruta crítica tienen holgura cero.* La información sobre la holgura suele ser útil porque resalta las actividades que necesitan mucha atención. En este sentido, la holgura de la actividad es la cantidad de corrimiento programado que se puede tolerar para una actividad antes de que el proyecto completo se retrase. La holgura en una actividad se reduce cuando la duración estimada de una actividad se excede o cuando el inicio programado debe retrasase debido a consideraciones de recursos. La holgura de una actividad se calcula en una de dos formas para cualquier actividad:

holgura de una actividad
El tiempo máximo que una actividad puede retrasarse sin demorar todo el proyecto se calcula como $H = LS - ES$ o $S = LF - EF$.

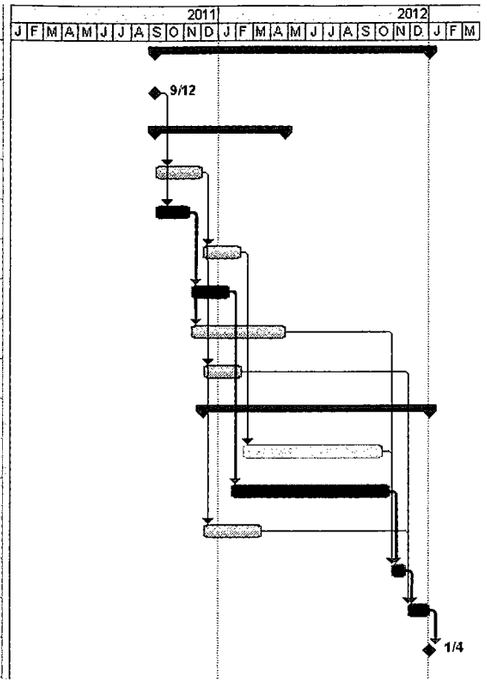
$$H = LS - ES \quad \text{o} \quad H = LF - EF$$

Las computadoras calculan la holgura de las actividades y preparan reportes periódicos para proyectos grandes, lo que permite a los administradores monitorear el avance. Con estos reportes, los administradores pueden, algunas veces, manipular las holguras para compensar problemas de programación. Cuando los recursos se utilizan en varias actividades diferentes en un proyecto, es posible quitarlos de actividades con holgura y asignarlos a otras que estén retrasadas hasta que se acabe la holgura. Las holguras de cada actividad en el proyecto del hospital se muestran en la figura 2.4.

MyOMLab
El modelo activo 2.1 en MyOMLab proporciona una visión adicional de las gráficas de Gantt y sus aplicaciones al proyecto del Hospital St. John.

Gráfica de Gantt El administrador del proyecto, algunas veces, con la ayuda de paquetes de computadora, crea la programación del proyecto con actividades simultáneas, sus relaciones de precedencia y duraciones estimadas en una línea de tiempo. El diagrama obtenido es una **gráfica**

	Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessors
1	⊟ St John's Hospital Project	69 wks	Mon 9/12/11	Fri 1/4/13	
2	Start	0 wks	Mon 9/12/11	Mon 9/12/11	
3	⊟ Organizing and Site Prep	33 wks	Mon 9/12/11	Fri 4/27/12	
4	A. Select Staff	12 wks	Mon 9/12/11	Fri 12/2/11	2
5	B. Select Site	9 wks	Mon 9/12/11	Fri 11/11/11	2
6	C. Select Equipment	10 wks	Mon 12/5/11	Fri 2/10/12	4
7	D. Construction Plans	10 wks	Mon 11/14/11	Fri 1/20/12	5
8	E. Utilities	24 wks	Mon 11/14/11	Fri 4/27/12	5
9	F. Interviews	10 wks	Mon 12/5/11	Fri 2/10/12	4
10	⊟ Facilities and Infrastructure	57 wks	Mon 12/5/11	Fri 1/4/13	
11	G. Purchase Equipment	35 wks	Mon 2/13/12	Fri 10/12/12	6
12	H. Construct Hospital	40 wks	Mon 1/23/12	Fri 10/26/12	7
13	I. Information System	15 wks	Mon 12/5/11	Fri 3/16/12	4
14	J. Install Equipment	4 wks	Mon 10/29/12	Fri 11/23/12	8,11,12
15	K. Train Staff	6 wks	Mon 11/26/12	Fri 1/4/13	9,13,14
16	Finish	0 wks	Fri 1/4/13	Fri 1/4/13	15



▲ **FIGURA 2.5**
Gráfica de Gantt de MS Project para la programación del proyecto del Hospital St. John

de Gantt. La figura 2.5 muestra una gráfica de Gantt para el proyecto del hospital creada con Microsoft Project, un paquete de software popular para la administración de proyectos. La ruta crítica se muestra en negro y con línea más gruesa. La gráfica presenta con claridad las actividades que pueden ser simultáneas y cuándo deben iniciar. La figura 2.5 también señala el inicio más cercano para el programa del proyecto. Microsoft Project también se puede usar para ver los tiempos programados de inicio más lejano o cambiar la definición de la semana de trabajo para declarar sábados y domingos como días hábiles, por ejemplo. Las gráficas de Gantt son populares porque son intuitivas y es sencillo construirlas.

gráfica de Gantt
Programa del proyecto que suele crear el administrador del proyecto con ayuda de una computadora, que presenta las actividades simultáneas con sus relaciones de precedencia y las duraciones estimadas en una línea de tiempo.

Análisis de intercambios entre tiempo y costo

Mantener los costos en un nivel aceptable es casi siempre tan importante como cumplir con las fechas de entrega. En esta sección se estudiará el uso de los métodos de PERT/CPM para obtener programas de costo mínimo.

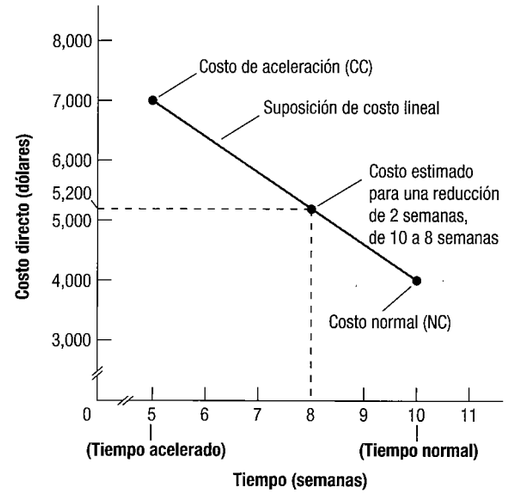
La realidad de la administración de proyectos es que siempre hay intercambios entre el costo y el tiempo. Por ejemplo, muchas veces un proyecto puede terminar antes de lo programado contratando trabajadores o con horas extra. Estas acciones serían ventajosas si se acumulan ahorros o ingresos adicionales por terminar antes. Los *costos totales del proyecto* son la suma de costos directos, costos indirectos y costos de penalización. Estos costos dependen de los tiempos de las actividades o del tiempo de terminación del proyecto. Los *costos directos* incluyen mano de obra, materiales y muchos otros costos directamente relacionados con las actividades del proyecto. Los *costos indirectos* incluyen costos de administración, depreciación, financieros y otros que pueden evitarse si se reduce el tiempo total del proyecto: cuanto menor sea la duración del proyecto, menores serán los costos indirectos. Por último, un proyecto puede incurrir en *costos de penalización* si se extiende más allá de la fecha especificada, mientras que existiría *un incentivo* por terminar antes. Los administradores pueden acortar los tiempos de las actividades individuales usando recursos directos adicionales, como horas extra, personal o equipo. Así, un administrador de proyectos puede considerar *acelerar* algunas actividades para reducir el tiempo de terminación de todo el proyecto y sus costos totales.

Mark Eveleigh/Alamy

Las excavadoras trabajando en el proyecto del nuevo Canal del Panamá, el cual tiene implicaciones internacionales y costos masivos.

Costo de aceleración Para evaluar el beneficio de acelerar ciertas actividades, ya sea desde la perspectiva de costo o de programación, el administrador del proyecto debe conocer los siguientes tiempos y costos:

1. El **tiempo normal (NT**, *normal time*) es el tiempo necesario para terminar una actividad en condiciones normales.
2. El **costo normal (NC**, *normal cost*) es el costo de la actividad asociado con el tiempo normal.
3. El **tiempo acelerado (CT**, *crash time*) es el tiempo más corto posible para terminar una actividad.
4. El **costo acelerado (CC**, *crash cost*) es el costo de la actividad asociado con el tiempo de aceleración.



▲ **FIGURA 2.6**
Relaciones costo-tiempo en el análisis de costos

Nuestro análisis de costo se basa en la suposición de que los costos directos aumentan en forma lineal cuando se reduce el tiempo de la actividad respecto de su tiempo normal. Esta suposición implica que por cada semana que se reduce una actividad, el costo directo aumenta cierta cantidad proporcional. Por ejemplo, suponga que el tiempo normal de la actividad C del proyecto del hospital es 10 semanas y está asociado con un costo directo de $4,000. Además, suponga que podemos acelerar su tiempo solo cinco semanas con un costo total de $7,000: el tiempo neto de reducción es cinco semanas a un aumento de costo de $3,000. Suponemos que acelerar la actividad C cuesta $3,000/5 = $600 por semana, una suposición de costos marginales lineales, como se ilustra en la figura 2.6. Así, si la actividad C se acelerara dos semanas (es decir, su tiempo se reduce de 10 a 8 semanas), el costo directo estimado sería $4,000 + 2 ($600) = $5,200. Para cualquier actividad el costo de aceleración de una semana es

$$\text{Costo de acelerar por periodo} = \frac{\text{CC} - \text{NC}}{\text{NT} - \text{CT}}$$

La tabla 21 contiene los datos de costo directo y tiempo, al igual que los costos de aceleración por semana para las actividades del proyecto del hospital.

TABLA 2.1 | DATOS DE COSTO DIRECTO Y TIEMPO PARA EL PROYECTO DEL HOSPITAL ST. JOHN

Actividad	Tiempo normal (NT) (semanas)	Costo normal (NC) ($)	Tiempo acelerado (CT) (semanas)	Costo acelerado (CC) ($)	Reducción máxima de tiempo (semanas)	Costo de aceleración por semana ($)
A	12	$12,000	11	13,000	1	1,000
B	9	50,000	7	64,000	2	7,000
C	10	4,000	5	7,000	5	600
D	10	16,000	8	20,000	2	2,000
E	24	120,000	14	200,000	10	8,000
F	10	10,000	6	16,000	4	1,500
G	35	500,000	25	530,000	10	3,000
H	40	2,200,000	35	1,260,000	5	12,000
I	15	40,000	10	52,500	5	2,500
J	4	10,000	1	13,000	3	1,000
K	6	30,000	5	34,000	1	4,000
	Totales	$1,992,000		$2,209,500		

Minimización de costos El objetivo del análisis de costo es determinar la programación del proyecto que minimiza sus costos totales. Suponga que los costos indirectos del proyecto son $8,000 por semana. Suponga también que, después de la semana 65, el Consejo Regional del hospital impone a St. John un costo de penalización de $20,000 por semana si el hospital no está en operación completa. Con un tiempo de terminación de la ruta crítica en 69 semanas, el hospital está ante grandes costos de penalización potenciales, a menos que cambie la programación. Por cada semana que el proyecto se reduzca hasta la semana 65, el hospital ahorra una semana de penalización

tiempo normal (NT)
En el contexto de la administración de proyectos es el tiempo necesario para completar una actividad en condiciones normales.

costo normal (NC)
El costo de la actividad asociado con el tiempo normal.

tiempo acelerado (CT)
El tiempo más corto posible para completar una actividad.

costo acelerado (CC)
El costo de la actividad asociado con el tiempo acelerado.

y costos indirectos, esto es, $28,000. Por reducciones mayores de la semana 65, los ahorros sólo son por los costos indirectos semanales, o sea $8,000.

La duración mínima posible del proyecto se puede encontrar usando los tiempos acelerados para cada actividad, con el fin de obtener una programación. Sin embargo, el costo de esta programación puede ser prohibitivo. Los administradores del proyecto están muy interesados en minimizar los costos de sus proyectos para no exceder los presupuestos. Al determinar el **programa de costo mínimo** comenzamos con el programa de tiempo normal y aceleramos las actividades en la ruta crítica, cuya longitud es igual a la del proyecto. Queremos determinar cuánto podemos agregar en costos de aceleración sin exceder los ahorros en costos de penalización e indirectos. El procedimiento incluye los siguientes pasos:

programa de costo mínimo
Es un programa determinado comenzando con el programa de tiempo normal y acelerando las actividades en la ruta crítica, de manera que los costos de aceleración no excedan los ahorros en costos de penalización e indirectos.

Paso 1. Determinar la o las rutas críticas del proyecto.

Paso 2. Encontrar la o las actividades en las rutas críticas con el menor costo de aceleración por semana.

Paso 3. Reducir el tiempo para esta actividad hasta que: *a*) no pueda reducirse más, *b*) otra ruta se vuelva crítica o *c*) el incremento en costos directos exceda el ahorro en costo de penalización e indirecto que resulta al acelerar el proyecto. Si más de una ruta es crítica, es posible que deba reducirse el tiempo para una actividad en cada ruta de manera simultánea.

Paso 4. Repetir este procedimiento hasta que el incremento en costos directos sea mayor que el ahorro generado por la aceleración del proyecto.

EJEMPLO 2.3 Determinación de un programa de costo mínimo

Determine el programa de costo mínimo para el proyecto del Hospital St. John. Utilice la información de la tabla 2.1 y de la figura 2.4.

MyOMLab
El modelo activo 2.2 en MyOMLab proporciona un panorama adicional al análisis de costo para el proyecto del Hospital St. John.

SOLUCIÓN

El tiempo de terminación previsto para el proyecto es 69 semanas. Los costos del proyecto para ese programa son $1,992,000 en costos directos, 69 ($8,000) = $552,000 en costos directos y (69 – 65)($20,000) = $80,000 en costos de penalización, que dan un costo total del proyecto igual a $2,624,000.

A–I–K	33 semanas
A–F–K	28 semanas
A–C–G–J–K	67 semanas
B–D–H–J–K	69 semanas
B–E–J–K	43 semanas

Se simplifica el análisis si no se toman en cuenta algunas rutas. Si todas las actividades en A–C–G–J–K se aceleran, la duración de la ruta sería de 47 semanas. Acelerar todas las actividades en B–D–H–J–K da una duración del proyecto de 56 semanas. Como los tiempos *normales* de A–I–K, A–F–K y B–E–J–K son menores que los tiempos mínimos de las otras dos rutas, podemos no tomar en cuenta esas tres rutas; nunca se convertirán en críticas, independientemente de la aceleración que se realice.

ETAPA 1

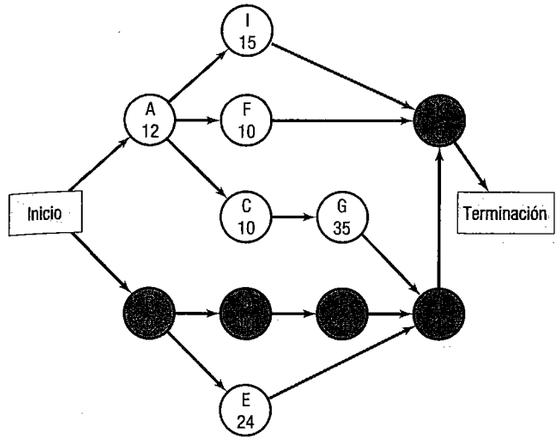
Paso 1. La ruta crítica es B–D–H–J–K.

Paso 2. La actividad que menos cuesta acelerar por semana es J con $1,000, que es mucho menos que los ahorros en costos de penalización y costos indirectos de $28,000 por semana.

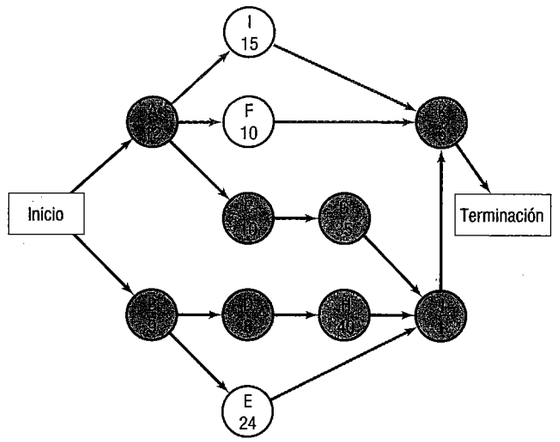
Paso 3. Se acelera la actividad J por su límite de tres semanas, ya que la ruta crítica permanece sin cambios. Los nuevos tiempos esperados son

A–C–G–J–K: 64 semanas y B–D–H–J–K: 66 semanas

Los ahorros netos son 3 ($28,000) – 3 ($1,000) = $81,000. *El costo total del proyecto ahora es de* $2,624,000 – $81,000 = $2,543,000.



ETAPA 1



ETAPA 2

ETAPA 2

Paso 1. La ruta crítica es B–D–H–J–K.

Paso 2. La actividad con aceleración menos costosa por semana es ahora D con $2,000.

Paso 3. Se acelera D dos semanas. La reducción de la primera semana ahorra $28,000 porque elimina una semana de costos de penalización y costos indirectos. Acelerar D la segunda semana ahorra solo $8,000 de costos indirectos, porque después de la semana 65, ya no hay costos de penalización. Estos ahorros todavía exceden el costo de acelerar D una segunda semana. Los nuevos tiempos de la ruta son:

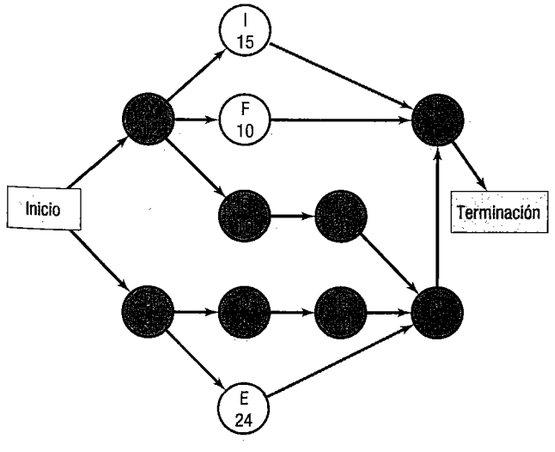
A–C–G–J–K: 64 semanas y B–D–H–J–K: 64 semanas

Los ahorros netos son $28,000 + $8,000 – 2 ($2,000) = $32,000. El costo total del proyecto ahora es $2,543,000 – $32,000 = $2,511,000.

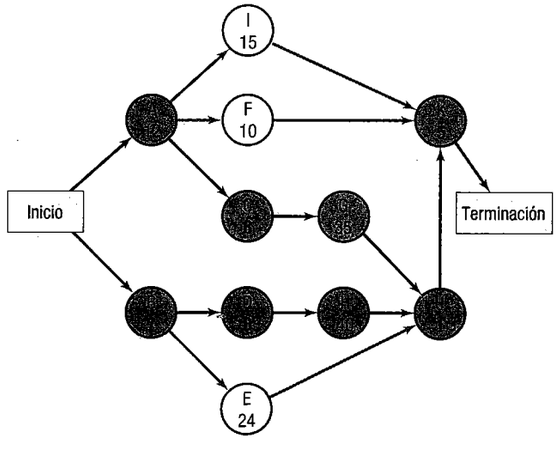
ETAPA 3

Paso 1. Después de acelerar D, se tienen dos rutas críticas. *Ambas* deben ahora acelerarse para obtener ahorros en los costos indirectos del proyecto si una se acelera y la otra no, la longitud del proyecto no cambia.

Paso 2. Nuestras alternativas son acelerar una de las siguientes combinaciones de actividades: (A, B); (A, H); (C, B); (C, H); (G, B); (G, H), o acelerar la actividad K que está en ambas rutas críticas (J ya se aceleró). Consideramos solo aquellas alternativas para las cuales el costo de acelerar es menor que los ahorros potenciales de $8,000 por semana. Las únicas alternativas viables son (C, B) con un costo de $7,600 por semana y K por $4,000 por semana. Elegimos acelerar la actividad K.



ETAPA 3



ETAPA 4

Paso 3. Aceleramos la actividad K lo más posible, una reducción de una semana, porque debe hacerse en ambas rutas críticas. Los tiempos ahora son

A–C–G–J–K: 63 semanas y B–D–H–J–K: 63 semanas

Los ahorros netos son \$8,000 – \$4,000= \$4,000. Los costos totales del proyecto ahora son \$2,511,000 – \$4,000 = \$2,507,000.

ETAPA 4

Paso 1. Las rutas críticas son B–D–H–J–K y A–C–G–J–K.

Paso 2. La única alternativa factible en esta etapa es acelerar las actividades B y C al mismo tiempo, a un costo de \$7,600 por semana. Esta cantidad todavía es menor que los ahorros de \$8,000 por semana.

Paso 3. Acelerar las actividades B y C dos semanas, el límite para la actividad B. Los tiempos actualizados son

A–C–G–J–K: 61 semanas y B–D–H–J–K: 61 semanas

Los ahorros netos son 2 (\$8,000) – 2 (\$7,600) = \$800. Los costos totales del proyecto ahora son: \$2,507,000 – \$800 = \$2,506,200.

La siguiente tabla resume el análisis.

Etapa	Actividad acelerada	Reducción de tiempo (semanas)	Ruta(s) crítica(s) resultante(s)	Duración del proyecto (semanas)	Costos directos del proyecto, última prueba (\$000)	Costo de aceleración agregado (\$000)	Costo total indirecto (\$000)	Costo total de penalización (\$000)	Costo total del proyecto (\$000)
0	—	—	B–D–H–J–K	69	1,992.0	—	552.0	80.0	2,624.0
1	J	3	B–D–H–J–K	66	1,992.0	3.0	528.0	20.0	2,543.0
2	D	2	B–D–H–J–K A–C–G–J–K	64	1,995.0	4.0	512.0	0.0	2,511.0
3	K	1	B–D–H–J–K A–C–G–J–K	63	1,999.0	4.0	504.0	0.0	2,507.0
4	B, C	2	B–D–H–J–K A–C–G–J–K	61	2,003.0	15.2	488.0	0.0	2,506.2

PUNTO DE DECISIÓN

Debido a que los costos de aceleración exceden los costos indirectos, el resultado de cualquier otra combinación de actividades será un incremento neto en el costo total del proyecto. El programa de costo mínimo dura 61 semanas, con un costo total de \$2,506,200. Para obtener este programa, el equipo del proyecto debe acelerar las actividades B, D, J y K hasta su límite y la actividad C a ocho semanas. Las otras actividades permanecen en sus tiempos normales. Este programa cuesta \$117,800 menos que el programa con tiempos normales.

Evaluación de riesgos

Riesgo es la medida de la probabilidad y consecuencia de no alcanzar la meta definida del proyecto. El riesgo involucra el concepto de incertidumbre en lo que se refiere al tiempo y costo del proyecto. Con frecuencia, los equipos de proyecto deben manejar la incertidumbre ocasionada por faltantes en la mano de obra, clima, retrasos en el abastecimiento o los resultados de pruebas críticas. En esta sección estudiamos los planes de administración del riesgo y las herramientas que los administradores pueden usar para analizar los riesgos, como simulación y análisis estadístico, que les permite estimar la probabilidad de terminar un proyecto a tiempo y las rutas casi críticas potenciales que afectan el tiempo de terminación del proyecto.

Planes de administración del riesgo Una responsabilidad importante del administrador del proyecto al inicio del mismo es desarrollar un **plan de administración del riesgo**, que identifica los riesgos clave para el éxito de un proyecto y prescribe maneras de evitarlos. Un buen plan para administrar el riesgo cuantifica los riesgos, predice su impacto en el proyecto y proporciona planes de contingencia. El riesgo del proyecto se evalúa examinando cuatro categorías:

plan de administración del riesgo

Plan para identificar los riesgos clave para el éxito de un proyecto y determina maneras de evitarlos.

- *Ajuste estratégico.* El proyecto quizá no sea un buen ajuste estratégico en el sentido de que no está claramente ligado a las metas estratégicas de la empresa.
- *Atributos de servicios/productos.* Si el proyecto incluye el desarrollo de un nuevo servicio o producto, puede haber riesgos de mercado, tecnológicos o legales. Existe la posibilidad de que los competidores ofrezcan un producto superior o un descubrimiento tecnológico que puede hacer que el producto o servicio sea obsoleto antes de que siquiera llegue al mercado. Quizá también existan riesgos legales de demandas potenciales o responsabilidades que puedan forzar cambios en el diseño después de iniciar el desarrollo del producto.
- *Capacidades del equipo de trabajo.* El equipo de trabajo quizá no tiene la capacidad de completar el proyecto con éxito, debido al tamaño y la complejidad del proyecto o a la tecnología involucrada.
- *Operaciones.* Tal vez exista un riesgo de operaciones debido a poca precisión en la información, falta de comunicación, relaciones de precedencia omitidas o estimaciones erróneas de los tiempos de las actividades.

Estos riesgos deben identificarse y desarrollarse planes de contingencia para los que sean significativos, en caso de que algo salga mal. Cuanto más riesgoso es el proyecto, tanto más probable será que experimente dificultades, como lo muestra la práctica administrativa 2.1.

Simulación Las redes PERT/CPM se pueden utilizar para cuantificar los riesgos asociados con los tiempos del proyecto. Con frecuencia, la incertidumbre asociada con una actividad se puede reflejar en la duración de la actividad. Por ejemplo, una actividad en un proyecto de desarrollo de un nuevo producto podría ser desarrollar la tecnología para fabricarlo, actividad que puede tomar de

PRÁCTICA ADMINISTRATIVA 2.1 El proyecto Big Dig de Boston plantea muchos retos

Boston, Massachusetts, tiene muchas atracciones: el equipo de beisbol los Medias Rojas de Boston, campeón mundial, el *Freedom Trail* (camino de la libertad), que describe muchos edificios históricos que datan de los años 1600 y el proyecto más ambicioso de infraestructura de carretera que se haya intentado en Estados Unidos. La vía elevada de seis carriles que cruzaba el centro de la ciudad fue diseñada para 75,000 automóviles por día, pero estaba forzada a servir a 200,000 vehículos por día. La carretera se congestionaba durante 10 horas al día; se esperaba que la congestión aumentara a 16 horas al día para 2010. Para los residentes y negocios tenía un costo de \$500 millones al año en accidentes, combustible y cargos por entregas tardías.

Resolver el problema de tránsito sería más complicado que agregar unos carriles a la vía existente, que fue construida en 1953 y cuya estructura elevada se deterioraba con rapidez. En lugar de arreglar la vieja carretera se tomó la decisión de construir otra subterránea, de 8 a 10 carriles, directamente debajo de la existente, culminando en la zona norte de la ciudad en dos puentes de 14 carriles para cruzar el río Charles. En la zona sur se construyó un túnel de cuatro carriles debajo del sur de Boston y del puerto de Boston hacia el aeropuerto de Logan, sin dejar dudas de por qué este proyecto obtuvo el sobrenombre de "Big Dig" (gran excavación); el proyecto se extiende 7.8 millas de carretera donde la mitad son túneles ¡bajo una ciudad y un puerto importantes! La planeación del proyecto inició en 1983, la construcción comenzó en 1991, y en la primavera de 2007 se declaró que estaba completo 99% de la obra.

¿Tuvo éxito el proyecto? La respuesta puede depender de a quién le pregunten. Los residentes de Boston tienen una red de transporte mucho más eficiente que permite un crecimiento para muchos años en el futuro. Sin embargo, desde la perspectiva de la administración de proyectos, dejó de cumplir tres metas en todos los proyectos: **1.** entrega a tiempo, **2.** dentro del presupuesto y **3.** cumplir las especificaciones. El Big Dig se entregó nueve años tarde (originalmente se programó para 1998), con más de \$10 mil millones sobre el presupuesto (con un costo original de alrededor de \$4 mil millones en dólares actuales) y requirió reparaciones significativas de filtraciones poco después de abrir los túneles. Recibió mucha publicidad negativa en el verano de 2006 como resultado de la falla en los paneles del techo en el túnel de acceso desde el puerto, que cayeron sobre la carretera y sobre un vehículo que circulaba, donde el saldo fue la trágica pérdida de la vida del conductor. Debido a que los fondos del proyecto venían de los impuestos, no es de sorprender que estuviera sujeto a grandes debates y controversias.

¿Por qué este proyecto experimentó tales problemas? El Big Dig es un ejemplo de un proyecto riesgoso porque era enorme y complejo. Se le reconoció como uno de los proyectos de ingeniería más controversiales y complejos en la historia de la humanidad, rivalizando con los del Canal de Panamá, el Túnel del Canal de la Mancha y el oleoducto desde Alaska. Los administradores del proyecto tuvieron muchas reuniones con agencias ambientales, grupos comunitarios, negocios y líderes políticos para lograr el consenso de cómo se construiría el proyecto. Debido a estas reuniones, el alcance del proyecto se modificó con el tiempo, lo que ocasionó que la planeación del mismo cambiara. Desde la perspectiva operacional, casi ninguna de las compañías constructoras participantes había hecho jamás algo de ese tamaño y alcance, y tuvieron problemas para proporcionar buenas estimaciones de los tiempos para su parte del proyecto. Los retrasos y sobrecostos eran inevitables. Todavía más, la calidad era difícil de lograr por tantos contratistas involucrados en un proyecto tan complejo. Los proyectos de este tamaño y complejidad son por naturaleza riesgosos; los planes de contingencia deben cubrir las interrupciones más probables. Los problemas de programación y presupuesto son usuales, el trabajo de los administradores del proyecto es administrar los riesgos y minimizar las desviaciones.

Michael Dwyer/Alamy

Gran controversia rodeó al "Big Dig", un túnel para una vía masiva construida bajo la ciudad y el puerto de Boston. Para el día en que fue terminado el Big Dig, estaba fuera de presupuesto, tarde y no cumplía con las especificaciones, en parte porque nadie había emprendido antes un proyecto tan complejo.

Fuentes: **http://en.wikipedia.org/wiki/Big_Dig (2010)**; **www.massturnpike.com/bigdig/updates** (2007); Seth Stern. "$14.6 Billion Later, Boston's Big Dig Wraps Up", *Christian Science Monitor* (19 de diciembre, 2003); "The Big Dig, Boston MA,USA, **www.roadtraffic-technology.com** (2005); "Big Dig Tunnel Is Riddled with Leaks", *Associated Press*, **http://abcnews.go.com** (19 de noviembre, 2004); Michael Roth, "Boston Digs the Big Dig", *Rental Equipment Register* (1 de noviembre, 2000), **http://rermag.com/ar** (2005).

Análisis de probabilidades Debido a que las estimaciones de tiempos para las actividades involucran incertidumbre, los administradores de proyectos están interesados en determinar la probabilidad de cumplir con la fecha de terminación del proyecto. Para desarrollar la distribución de probabilidad para el tiempo de terminación del proyecto, suponemos que la duración de una actividad no depende de otra actividad. Esta suposición permite estimar la media y la varianza de la distribución de probabilidad de la duración del proyecto completo sumando las duraciones y las varianzas de las actividades de la ruta crítica. Sin embargo, si una brigada de trabajo se asigna a dos actividades que pueden realizarse al mismo tiempo, los tiempos de las actividades serán interdependientes y la suposición no sería válida. Además, si otras rutas en la red tienen holguras pequeñas, una de ellas puede convertirse en crítica antes de terminar el proyecto; debemos calcular una distribución de probabilidad también para esas rutas.

Debido a la suposición de que las duraciones de las actividades son variables aleatorias independientes, podemos usar el teorema del límite central, que establece que la suma de un grupo de variables aleatorias independientes, idénticamente distribuidas se acerca a la distribución normal conforme el número de variables aleatorias crece. La media de la distribución normal es la suma de los tiempos esperados de las actividades en la ruta. En el caso de la ruta crítica, es el tiempo más cercano esperado de terminación del proyecto:

$T_E = \Sigma$ (tiempos esperados de las actividades en la ruta crítica) = media de la distribución normal

De manera similar, debido a la suposición de independencia de los tiempos de las actividades, usamos la suma de las varianzas de las actividades en la ruta como la varianza de la distribución del tiempo para esa ruta. Esto es, para la ruta crítica,

$$\sigma_P^2 = \Sigma \text{ (varianzas de las actividades en la ruta crítica)}$$

Para analizar las probabilidades de terminar el proyecto para cierta fecha usando la distribución normal, nos enfocamos en la *ruta crítica* y usamos la fórmula de la transformación z:

$$z = \frac{T - T_E}{\sigma_P}$$

donde

T = fecha de entrega del proyecto

Dado el valor de z, consultamos el apéndice "Distribución normal" para encontrar la probabilidad de que el proyecto termine para el tiempo, T, o antes. Una suposición implícita en este enfoque es que ninguna otra ruta se volverá crítica durante la realización del proyecto. El ejemplo 2.5, inciso *a*) muestra este cálculo para el proyecto del Hospital St. John.

El procedimiento para evaluar la probabilidad de terminar una actividad en un proyecto para la fecha especificada es similar al que acabamos de presentar. Sin embargo, en lugar de la ruta crítica, usaríamos la ruta con el tiempo más largo de actividades desde el inicio al nodo de la actividad en cuestión.

Rutas casi críticas La duración de un proyecto es una función de la ruta crítica. No obstante, las rutas que tienen una duración cercana a la de la ruta crítica pueden convertirse en rutas críticas durante la realización del proyecto. En la práctica, al inicio del proyecto, es común que los administradores no conozcan los tiempos de las actividades con certidumbre y tal vez no sepan qué ruta era la ruta crítica hasta que se conocen los tiempos reales al final del proyecto. De cualquier forma, esta incertidumbre no disminuye el beneficio de identificar la probabilidad de que una ruta u otra hagan que el proyecto exceda su tiempo de terminación meta; es útil identificar las actividades que necesitan la atención cercana de la administración. Para evaluar la posibilidad de que las rutas casi críticas retrasen la terminación del proyecto, podemos enfocarnos en las rutas más largas de la red del proyecto teniendo en mente que deben considerarse tanto la duración como la varianza en las rutas. Las rutas más cortas con varianzas altas pueden tener tanta oportunidad de retrasar el proyecto como las largas con varianzas altas. Podemos entonces estimar la probabilidad de que una ruta dada exceda el tiempo meta de terminación del proyecto. Demostramos ese enfoque usando el análisis estadístico del ejemplo 2.5, inciso *b*).

De manera alternativa, la simulación se puede utilizar para estimar las probabilidades. La ventaja de la simulación es que no está restringida al uso de la distribución beta para los tiempos de las actividades. También, las dependencias de actividades o rutas, como los puntos de decisión que involucran diferentes grupos de actividades por emprender, se pueden incorporar en un modelo de simulación con mucha mayor facilidad que en el modelo estadístico. Por fortuna, no importa el enfoque que se use, pues rara vez es necesario evaluar cada ruta en la red. En las redes grandes, muchas rutas tendrán duraciones cortas y varianzas bajas, por lo que es poco probable que afecten la duración del proyecto.

EJEMPLO 2.5 Cálculo de la probabilidad de terminar el proyecto para una fecha determinada

Calcule la probabilidad de que el Hospital St. John quede listo para operar en 72 semanas; utilice: *a*) la ruta crítica y *b*) la ruta casi crítica A–C–G–J–K.

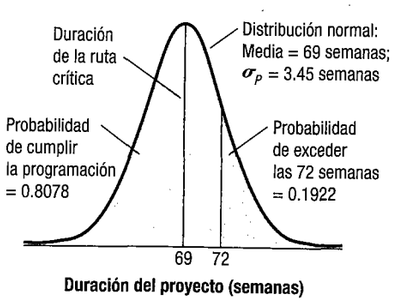
MyOMLab
El modelo activo 2.3 en MyOMLab proporciona una idea adicional sobre el análisis de probabilidad para el proyecto del Hospital St. John.

SOLUCIÓN

a) La ruta crítica B–D–H–J–K tiene una duración de 69 semanas. De la tabla en el ejemplo 2.4, obtenemos la varianza de la ruta B–D–H–J–K: $\sigma_P^2 = 1.78 + 1.78 + 2.78 + 5.44 + 0.11 = 11.89$. Ahora calculamos el valor z:

$$z = \frac{72 - 69}{\sqrt{11.89}} = \frac{3}{3.45} = 0.87$$

Consulte el apéndice de la distribución normal; en la columna de la izquierda vamos hacia abajo hasta llegar al valor 0.8 y luego por el renglón hasta llegar a la columna del 0.07, que muestra el valor tabular 0.8078. En consecuencia, encontramos que hay una probabilidad de 0.81 de que la duración de la ruta B–D–H–J–K no sea mayor a 72 semanas. Como esta es la ruta crítica, existe 19% de probabilidad de que el proyecto requiera más de 72 semanas. Esta probabilidad se muestra en la gráfica de la figura 2.8.



▲ **FIGURA 2.8**
Probabilidad de completar el proyecto del Hospital St. John a tiempo

b) De la tabla en el ejemplo 2.4, determinamos que la suma de los tiempos esperados de las actividades en la ruta A–C–G–J–K es 67 semanas y que $\sigma_P^2 = 0.11 + 2.78 + 7.11 + 5.44 + 0.11 = 15.55$. El valor z es

$$z = \frac{72 - 67}{\sqrt{15.55}} = \frac{5}{3.94} = 1.27$$

Existe una probabilidad de alrededor de 0.90 de que la duración de la ruta A–C–G–J–K no sea mayor a 72 semanas.

PUNTO DE DECISIÓN

El equipo del proyecto está consciente de la posibilidad de 10% de que la ruta A–C–G–J–K exceda la fecha meta de terminación en la semana 72. Aunque la probabilidad no es alta para esa ruta, las actividades A, C y G deben observarse durante las primeras 57 semanas del proyecto para asegurar que no retrasan más de dos semanas en su programación. Esta atención es especialmente importante para la actividad G, que tiene una varianza alta en su tiempo.

Monitoreo y control de proyectos

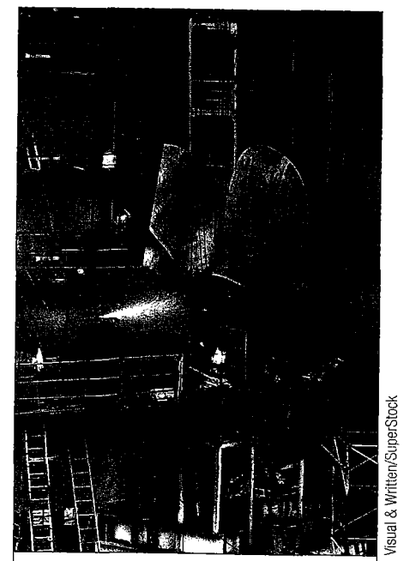
Una vez que termina la planeación, el reto se convierte en mantener el proyecto a tiempo dentro de los límites del presupuesto de recursos asignados. En esta sección estudiamos cómo supervisar el estado del proyecto y el uso de los recursos. Además, identificamos las características del software de administración de proyectos útil para monitorear y controlar proyectos.

Monitoreo del estado de proyecto

Un buen sistema de seguimiento ayuda al equipo del proyecto a lograr sus objetivos. Los sistemas de rastreo efectivos recolectan información sobre tres temas: **1.** asuntos sin terminar, **2.** riesgos y **3.** estado de la programación.

Asuntos sin terminar y riesgos Una de las responsabilidades del administrador del proyecto es asegurar que los asuntos que han surgido durante el proyecto, en efecto se resuelvan oportunamente. El sistema de rastreo debe recordar al administrador las fechas de entrega para los asuntos sin cerrar y quién es el responsable de ver que se solucionen. De igual manera debe proporcionar el estado de cada riesgo de retraso del proyecto especificado en el plan administrativo de riesgos, de manera que el equipo pueda revisarlos en cada reunión. Para ser efectivo, el sistema de seguimiento requiere que los miembros del equipo actualicen la información periódicamente en cuanto a sus respectivas responsabilidades.

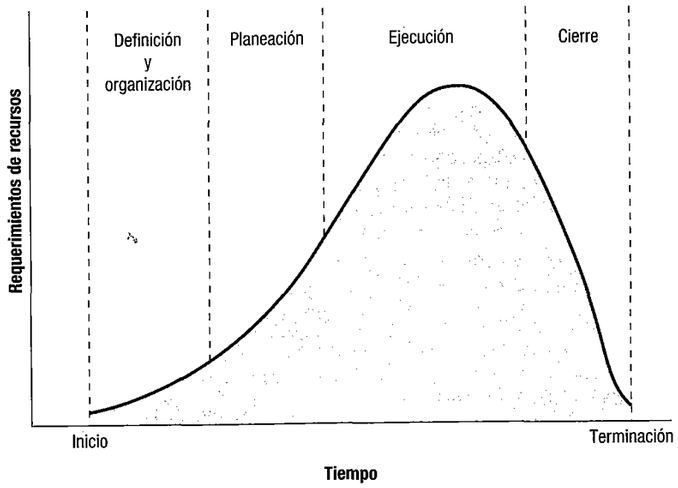
Estado de programa Incluso los mejores planes de proyectos pueden desviarse. Un sistema de rastreo que proporcione un monitoreo periódico del tiempo de holgura en el programa puede ayudar al administrador del proyecto a controlar las actividades de la ruta crítica. La actualización periódica del estado de las actividades en marcha permite al sistema de seguimiento recalcular las holguras e indicar las actividades que estén atrasadas o en peligro de usar toda su holgura. La administración puede entonces dedicarse a esas actividades y reasignar los recursos que se necesiten.


Visual & Written/SuperStock

El monitoreo y control de proyectos de construcción de barcos es crítico para mantener estos proyectos complejos a tiempo. En esta foto se fija una hélice a un barco marítimo.

Monitoreo de los recursos del proyecto

La experiencia ha demostrado que los recursos asignados al proyecto se consumen a una tasa irregular, que es una función del tiempo de los programas para las actividades del proyecto. Los proyectos tienen un *ciclo de vida* que consiste en cuatro etapas principales: **1.** definición y organización, **2.** planeación. **3.** ejecución y **4.** cierre. La figura 2.9 muestra que cada una de las cuatro etapas requiere comprometer un conjunto diferente de recursos.



▲ **FIGURA 2.9**
Ciclo de vida de un proyecto

Ya se analizaron las actividades asociadas con las etapas de definición, organización y planeación del proyecto. La etapa que necesita más recursos es la *etapa de ejecución*, durante la cual los administradores se dedican a las actividades relativas a lo que entregan. La programación del proyecto se vuelve muy importante porque muestra cuándo se requerirá cada recurso dedicado a una actividad. Monitorear el avance de las actividades durante todo el proyecto es importante para evitar una sobrecarga potencial de recursos. Los problemas que surgen cuando un recurso específico, como una brigada de construcción o un especialista, se requiere en varias actividades y la programación se traslapa. Los administradores del proyecto tienen varias opciones para aliviar los problemas de recursos, que incluyen lo siguiente:

- *Nivelado de recursos.* El intento de reducir los picos y valles en las necesidades de recursos moviendo la programación de actividades en conflicto dentro de sus tiempos de inicio cercano y lejano. Los paquetes de software como MS Project tienen algoritmos que mueven las actividades para evitar violar las restricciones de recursos.
- *Asignación de recursos.* Asignar los recursos a las actividades más importantes. La mayoría de los paquetes populares de software de administración de proyectos tiene unas cuantas reglas de prioridad que se pueden usar para decidir para qué actividad debe programarse un recurso crítico cuando surgen conflictos. Por ejemplo, para todas las actividades que requieren un recurso dado, se asigna el recurso a la que tiene el tiempo de inicio más pronto. El reporte de holguras de las actividades identifica los candidatos potenciales para el cambio del recurso; entonces, se pueden cambiar los recursos de actividades con holgura grande a las que están retrasadas.
- *Adquisición de recursos.* Agregar más de un recurso sobrecargado para mantener la programación de una actividad. Es obvio que esta táctica está restringida por el presupuesto del proyecto.

Control de proyectos

Los administradores de proyectos tienen la responsabilidad de dar cuenta del uso efectivo de los recursos de la empresa, al igual que administrar las actividades para lograr las metas de tiempo y calidad del proyecto. Los bienes de la empresa incluyen bienes físicos, recursos humanos y recursos financieros. Los bienes físicos se controlan con el mantenimiento oportuno de las máquinas y el equipo para que las fallas no retrasen el proyecto. Los inventarios deben recibirse, almacenarse para su uso futuro y reabastecerse. Los administradores del proyecto también son responsables del desarrollo de los recursos humanos. Los proyectos proporcionan un entorno generoso para desarrollar futuros líderes; los administradores de proyectos pueden aprovechar la situación asignando a los miembros del equipo actividades importantes para ayudarlos en su desarrollo administrativo. Por último, pero no menos importante, los administradores de proyectos deben controlar los gastos de recursos financieros de la empresa. La mayoría de los paquetes de software contienen reportes contables, reportes de presupuestos, controles de inversión de capital y reportes de flujo de efectivo. Las desviaciones del plan del proyecto, con frecuencia conocidas como varianzas, deben reportarse periódicamente y analizar sus causas.

cierre
Es una actividad que incluye escribir el informe final, completar las entregas restantes y compilar las recomendaciones del equipo para mejorar el proceso del proyecto.

Monitorear y controlar proyectos son actividades continuas durante toda la etapa de ejecución del ciclo de vida del proyecto. El **cierre** del proyecto, sin embargo, es una actividad que muchos administradores de proyecto olvidan incluir en su consideración de uso de recursos. El propósito de esta etapa final en el ciclo de vida del proyecto es escribir los informes finales y completar las entregas restantes. Un aspecto importante de esta etapa es compilar las recomendaciones del equipo para mejorar el proceso del proyecto de cual fueron parte. Muchos miembros de equipo serán asignados a otros proyectos donde pueden aplicar lo aprendido.

REPASO DE LAS METAS DE APRENDIZAJE

1. **Definir las principales actividades asociadas con definir, organizar, planear, monitorear y controlar proyectos.** La descripción completa del capítulo 2 gira alrededor de estas cinco importantes actividades. En todo caso, asegúrese de leer la apertura del capítulo, que describe las cuatro etapas del proyecto para introducir el nuevo producto Xbox 360, la introducción al capítulo y la sección "definición y organización de proyectos", pp. 51-52.
2. **Diagramar la red de actividades interrelacionadas en un proyecto.** Vea "Definición de la estructura desglosada de trabajo", pp. 53-54 y "Diagramación de redes", pp. 54-56. La figura 2.2 y el ejemplo 2.1 son importantes para lograr esta meta de aprendizaje.
3. **Identificar la secuencia de actividades críticas que determina la duración del proyecto.** Estudie la sección "Desarrollo de programas", pp. 57-60 y el ejemplo 2.2 para comprender la ruta crítica.
4. **Explicar cómo se determina un programa de proyecto de costo *mínimo*.** *La sección "Análisis de intercambios entre tiempo y* costo", pp. 60-64 y el ejemplo 2.3 muestran cómo deben considerarse los costos relevantes para minimizar los costos. La figura 2.6 explica una suposición clave en el análisis. El problema resuelto 1 contiene una solución detallada.
5. **Describir las consideraciones que los administradores hacen al evaluar los riesgos del proyecto y calcular la probabilidad de terminar el proyecto a tiempo.** Vea la sección "Evaluación de riesgos", pp. 64-66 que explica los riesgos que enfrentan los administradores de proyectos. La sección "Análisis", pp. 66-69 muestra cómo calcular las probabilidades. Asegúrese de comprender los ejemplos 2.4 y 2.5 y el problema resuelto 2.
6. **Definir las opciones disponibles para aliviar los problemas de recursos.** Vea la sección "Monitoreo y control de proyectos", pp. 69-70.

MyOMLab le ayuda a desarrollar habilidades analíticas y a evaluar su avance con múltiples problemas sobre identificar la ruta crítica, calcular la holgura de una actividad, el tiempo esperado, la varianza, el tiempo de terminación del proyecto, la probabilidad de terminarlo en cierta fecha y la programación de costo mínimo.

Recursos de MyOMLab	Títulos	Vínculos con el libro
Video	Administración de proyectos en Phoenician Nantucket Nectars: ERP	Todo el capítulo Definición y organización de proyectos
Ejercicio de modelo activo	2.1 Gráficas de Gantt 2.2 Análisis de costo 2.3 Análisis de probabilidad	Desarrollo y programación; ejemplo de modelo activo (p. 85) Análisis de la relación entre tiempo y costo; ejemplo 2.3 (pp. 62-64) Evaluación de riesgos; ejercicio 2.5 (p. 69)
Solvers de OM Explorer	Una sola estimación de tiempo Tres estimaciones de tiempo Presupuesto del proyecto	Desarrollo de la programación; ejemplo 2.2 (pp. 58-59) Evaluación de riesgos; ejemplo 2.4 (p. 67); problema resuelto 2 (pp. 74-77) Monitoreo y control de proyectos
POM para Windows	Una sola estimación de tiempo Tres estimaciones de tiempo Aceleración Presupuesto de costo Media/desviación estándar dadas	Desarrollo de la programación; ejemplo 2.2 (pp. 58-59) Evaluación de riesgos; ejemplo 2.4 (p. 67); problema resuelto 2 (pp. 74-77) Análisis de intercambios entre tiempo y costo; ejemplo 2.3 (pp. 62); problema resuelto 1 (pp. 72-74) Monitoreo y control de proyectos Evaluación de riesgos
Ejercicios de simulación SimQuick	Compañía de desarrollo de software	Evaluación de riesgos
Microsoft Project	*Prueba gratis*	Planeación de proyectos; figura 2.5 (p. 60)
SmartDraw	*Prueba gratis*	Diagramación de redes
Tour virtual	Reiger Orgelbau Pipe Organ Factory y Alaskan Way Viaduct	Planning Projects Assessing Risks; Monitoring and Controlling Projects
Suplemento de MyOMLab	E. Simulación H. Medición de tasas de salida I. Análisis de curvas de aprendizaje	Evaluación de riesgos Diagramación de redes Diagramación de redes
Ejercicios en Internet	Movimiento olímpico, Londres 2012 y Ch2M Hill	Planeación de proyectos; definición y organización de proyectos
Ecuaciones clave		
Biblioteca de imágenes		

Ecuaciones clave

1. Tiempos de inicio y terminación:

   t = duración estimada de la actividad

   ES = el más tardío de los tiempos EF de todas las actividades precedentes inmediatas de la actividad

   EF = ES + t

   LF = el más temprano de los tiempos LS de todas las actividades sucesoras inmediatas de la actividad

   LS = LF − t

2. Holgura de la actividad:

   H = LS − ES o H = LF − EF

3. Costos del proyecto:

$$\text{Costo de aceleración por periodo} = \frac{\text{Costo acelerado} - \text{costo normal}}{\text{Tiempo normal} - \text{tiempo acelerado}} = \frac{CC - NC}{NT - CT}$$

4. Estadísticas de tiempos de actividades:

   t_e = media de la distribución beta de una actividad

$$t_e = \frac{a + 4m + b}{6}$$

   σ^2 = varianza del tiempo de la actividad

$$\sigma^2 = \left(\frac{b - a}{6}\right)^2$$

5. Fórmula de la transformación z:

$$z = \frac{T - T_E}{\sigma_P}$$

   donde

   T = fecha de entrega del proyecto

   T_E = Σ (duraciones esperadas de actividad en la ruta crítica)

   = media de la distribución normal de la duración de la ruta crítica

   σ_P = desviación estándar de la distribución de la duración de la ruta crítica

Términos clave

actividad 53
administración de proyectos, 51
cierre 70
costo acelerado (CC) 61
costo normal (NC) 61
diagrama de red 54
estructura desglosada de trabajo (EDT) 53
gráfica de Gantt 60
holgura de una actividad 59
método de la ruta crítica (CPM) 54
plan de administración del riesgo 64
programa 51
programa de costo mínimo 62
proyecto 50
red de actividades en los nodos (AON) 55
relación de precedencia 54
ruta 57
ruta crítica 57
técnicas de revisión y evaluación de programas (PERT) 54
tiempo acelerado (CT) 61
tiempo de inicio más cercano (ES) 57
tiempo de inicio más lejano (LS) 57
tiempo de terminación más cercano (EF) 57
tiempo de terminación más lejana (LF) 57
tiempo más probable (m) 66
tiempo normal (NT) 61
tiempo optimista (a) 66
tiempo pesimista (b) 66

Problema resuelto 1

Su compañía acaba de recibir una orden de un buen cliente para la fabricación un motor eléctrico de diseño especial. El contrato establece que, comenzando el día 13 a partir de hoy, su compañía incurrirá en una penalización de $100 por día hasta que el trabajo quede terminado. Los costos indirectos del proyecto llegan a $200 por día. Los datos de los costos directos y las relaciones de precedencia entre las actividades se dan en la tabla 2.2.

TABLA 2.2 | DATOS DEL PROYECTO DE MOTOR ELÉCTRICO

Actividad	Tiempo normal (días)	Costo normal ($)	Tiempo acelerado (días)	Costo acelerado ($)	Predecesores inmediatos
A	4	1,000	3	1,300	Ninguno
B	7	1,400	4	2,000	Ninguno
C	5	2,000	4	2,700	Ninguno
D	6	1,200	5	1,400	A
E	3	900	2	1,100	B
F	11	2,500	6	3,750	C
G	4	800	3	1,450	D, E
H	3	300	1	500	F, G

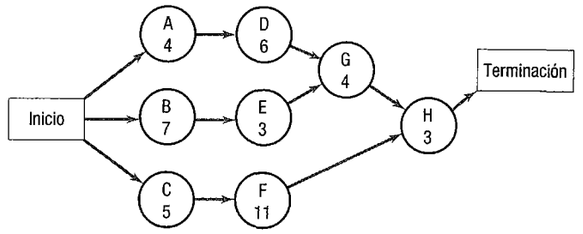
a) Dibuje el diagrama de red del proyecto.

b) ¿Qué día de terminación recomendaría?

SOLUCIÓN

a) El diagrama de red, incluyendo los tiempos normales de las actividades para este procedimiento, se muestra en la figura 2.10. Tenga en mente los siguientes puntos al construir el diagrama de red.

1. Siempre debe tener nodos de inicio y terminación.
2. Intente evitar rutas que se cruzan para que el diagrama sea sencillo.
3. Utilice solo una flecha para la conexión directa entre dos nodos.
4. Coloque las actividades sin predecesores a la izquierda y flechas que apuntan de izquierda a derecha.
5. Prepárese para revisar el diagrama varias veces antes de obtener un diagrama correcto y sin amontonamientos.



▲ **FIGURA 2.10**
Diagrama de red para el proyecto del motor eléctrico

b) Con estas duraciones para las actividades, el proyecto estará completo en 19 días e incurrirá en una penalización de $700. Determinar la fecha de terminación del artículo requiere usar el procedimiento del programa de costo mínimo. Con los datos proporcionados en la tabla 2.2, se puede determinar la máxima reducción de tiempo acelerado y el costo acelerado por día para cada actividad. Por ejemplo, para la actividad A tenemos

$$\text{Tiempo acelerado máximo} = \text{tiempo normal} - \text{tiempo acelerado}$$
$$= 4 \text{ días} - 3 \text{ días} = 1 \text{ día}$$

$$\text{Costo acelerado por día} = \frac{\text{Costo acelerado} - \text{costo normal}}{\text{Tiempo normal} - \text{tiempo acelerado}} = \frac{CC - NC}{NT - CT}$$
$$\frac{\$1{,}300 - \$1{,}000}{4 \text{ días} - 3 \text{ días}} = \$300$$

Actividad	Costo acelerado por día ($)	Reducción máxima (días)
A	300	1
B	200	3
C	700	1
D	200	1
E	200	1
F	250	5
G	650	1
H	100	2

La tabla 2.3 resume el análisis y los resultados de duración y costo total del proyecto. La ruta crítica es C–F–H con 19 días, que es la ruta más larga de la red. La menos costosa de estas actividades es H, que al acelerar cuesta solo $100 adicionales por día. Hacerlo ahorra $200 + $100 = $300 por día en costo indirectos y de penalización. Si se acelera esta actividad dos días (el máximo), las duraciones de las rutas ahora son

A–D–G–H: 15 días, B–E–G–H: 15 días y C–F–H: 17 días

La ruta crítica todavía es C–F–H. La siguiente actividad crítica que cuesta menos acelerar es F, a $250 por día. F se puede acelerar solo dos días porque en ese punto habrá tres rutas críticas. Una reducción mayor en la duración del proyecto requerirá acelerar más de una actividad simultánea (D, E y F). El costo de hacerlo, $650, excede los ahorros de $300. En consecuencia, debemos detenernos. Observe que cada actividad es crítica. Los costos del proyecto se minimizaron y el día de terminación es el día 15. Sin embargo, algunos costos de insatisfacción pueden asociarse con un cliente decepcionado que quiere la entrega en 12 días.

TABLA 2.3 | ANÁLISIS DEL COSTO DEL PROYECTO

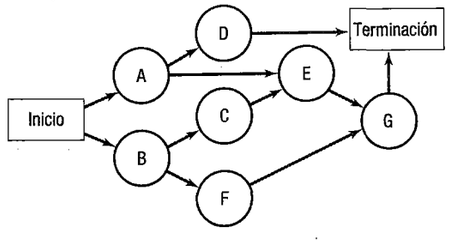
Etapa	Acelerar la actividad	Tiempo reducido (días)	Rutas críticas resultantes	Duración del proyecto (días)	Costos directos del proyecto, última prueba ($)	Costos de aceleración agregados ($)	Costos indirectos totales ($)	Costo de penalización total ($)	Costo total del proyecto ($)
0	—	—	C–F–H	19	10,100	–	3,800	700	14,600
1	H	2	C–F–H	17	10,100	200	3,400	500	14,200
2	F	2	A–D–G–H B–E–G–H C–F–H	15	10,300	500	3,000	300	14,100

Problema resuelto 2

Un administrador de un proyecto de publicidad desarrolló el diagrama de red mostrado en la figura 2.11 para una nueva campaña de publicidad. Además, el administrador reunió la información del tiempo para cada actividad, como se muestra en la tabla siguiente.

	ESTIMACIONES DE TIEMPO (SEMANAS)			
Actividad	Optimista	Más probable	Pesimista	Predecesores inmediatos
A	1	4	7	—
B	2	6	7	—
C	3	3	6	B
D	6	13	14	A
E	3	6	12	A, C
F	6	8	16	B
G	1	5	6	E, F

▼ **FIGURA 2.11**
Diagrama de red para el proyecto de publicidad



a) Calcule el tiempo esperado y la varianza para cada actividad.

b) Calcule las holguras de las actividades y determine la ruta crítica, usando los tiempos esperados de las actividades.

c) ¿Cuál es la probabilidad de terminar el proyecto dentro de 23 semanas?

SOLUCIÓN

a) El tiempo esperado y la varianza de cada actividad se calculan como sigue:

$$t_e = \frac{a + 4m + b}{6}$$

Actividad	Tiempo esperado (semanas)	Varianza (σ^2)
A	4.0	1.00
B	5.5	0.69
C	3.5	0.25
D	12.0	1.78
E	6.5	2.25
F	9.0	2.78
G	4.5	0.69

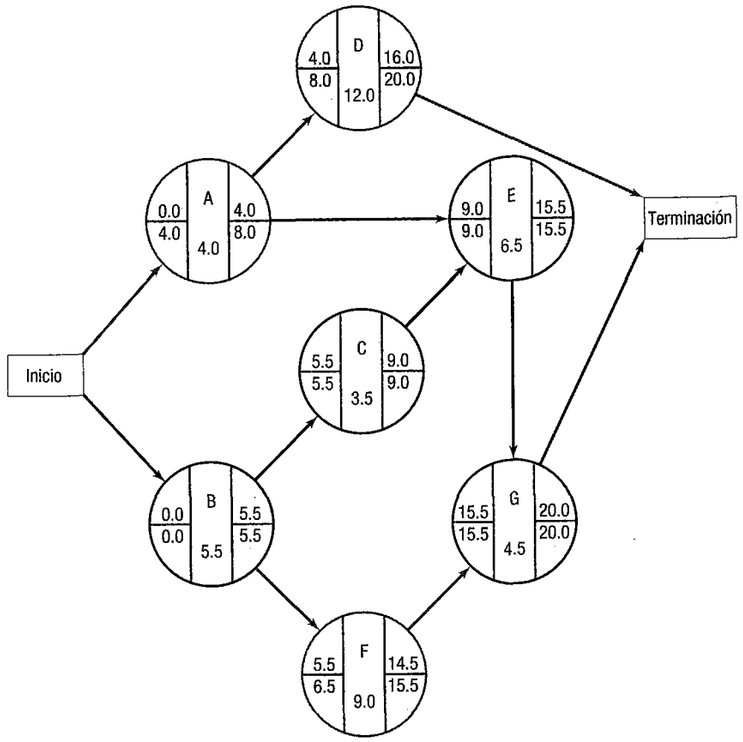
b) Debemos calcular los tiempos de inicio más cercano, inicio más lejano, terminación más cercana y terminación más lejana para cada actividad. Comenzando con las actividades A y B, procedemos desde el principio de la red y nos movemos hacia el final, calculando los tiempos de inicio más cercano y más lejano.

Actividad	Inicio más cercano (semanas)	Terminación más cercana (semanas)
A	0	0 + 4.0 = 4.0
B	0	0 + 5.5 = 5.5
C	5.5	5.5 + 3.5 = 4.0
D	4.0	4.0 + 12.0 = 16.0
E	9.0	9.0 + 6.5 = 15.5
F	5.5	5.5 + 9.0 = 14.5
G	15.5	15.5 + 4.5 = 20.0

Con base en los tiempos esperados, la terminación más cercana para el proyecto es 20 semanas, cuando termina la actividad G. Usando esto como fecha meta, podemos trabajar hacia atrás por la red, calculando los tiempos de inicio y terminación más lejanos (mostrados en la gráfica de la figura 2.12).

Actividad	Inicio más lejano (semanas)	Terminación más lejana (semanas)
G	15.5	20.0
F	6.5	15.5
E	9.0	15.5
D	8.0	20.0
C	5.5	9.0
B	0.0	5.5
A	4.0	8.0

▼ **FIGURA 2.12**
Diagrama de red con todas las estimaciones de tiempo necesarias para calcular la holgura



Ahora se calculan las holguras de las actividades para determinar qué actividades están en la ruta crítica.

	INICIO (SEMANAS)		TERMINACIÓN (SEMANAS)			
Actividad	**Más cercano**	**Más lejano**	**Más cercana**	**Más lejana**	**Holgura**	**Actividad crítica**
A	0.0	4.0	4.0	8.0	4.0	No
B	0.0	0.0	5.5	5.5	0.0	Sí
C	5.5	5.5	9.0	9.0	0.0	Sí
D	4.0	8.0	16.0	20.0	4.0	No
E	9.0	9.0	15.5	15.5	0.0	Sí
F	5.5	6.5	14.5	15.5	1.0	No
G	15.5	15.5	20.0	20.0	0.0	Sí

Las rutas y sus tiempos esperados totales y las varianzas son:

Ruta	**Tiempo total esperado (semanas)**	**Varianza total (σ_p^2)**
A–D	4 + 12 = 16	1.00 + 1.78 = 2.78
A–E–G	4 + 6.5 + 4.5 = 15	1.00 + 2.25 + 0.69 = 3.94
B–C–E–G	5.5 + 3.5 + 6.5 + 4.5 = 20	0.69 + 0.25 + 2.25 + 0.69 = 3.88
B–F–G	5.5 + 9 + 4.5 = 19	0.69 + 2.78 + 0.69 = 4.16

La ruta crítica es B–C–E–G, con un tiempo esperado total de 20 semanas. No obstante, la ruta B–F–G tarda 19 semanas y tiene una varianza grande.

c) Primero calculamos el valor z:

$$z = \frac{T - T_E}{\sigma_P} = \frac{23 - 20}{\sqrt{3.88}} = 1.52$$

En el apéndice de la distribución normal, encontramos que la probabilidad de terminar el proyecto en 23 semanas o menos es 0.9357. Como la duración de la ruta B–F–G es cercana a la de la ruta crítica y tiene varianza grande, puede convertirse en crítica durante la realización del proyecto.

Preguntas para análisis

1. Uno de sus colegas comenta que el software es la mejor herramienta para el éxito de la administración el proyectos. ¿Cómo le respondería?
2. Explique cómo determinar la holgura de cada actividad en un proyecto. ¿Por qué es importante para los administradores conocer en dónde está la holgura en su proyecto?
3. Defina el riesgo según se aplica a los proyectos. ¿Cuáles son las fuentes principales de riesgo en un proyecto?

Problemas

El OM Explorer y POM para Windows están disponibles para todos los estudiantes de la décima edición de este libro. Vaya a **www.pearsonhighered.com/krajewski** para bajar estos paquetes de computadora. Si compró MyOMLab, también tiene acceso al software de modelos activos y mucha ayuda para resolver los problemas siguientes. Verifique con su instructor la mejor manera de usar estos recursos. En muchos casos, el instructor le pedirá que comprenda cómo se hacen los cálculos a mano. Por lo menos, el software proporciona una verificación de sus cálculos. Cuando los cálculos son muy complejos y la meta es interpretar los resultados al tomar una decisión, el software sustituye por completo los cálculos manuales.

1. Considere los siguientes datos para un proyecto:

Actividad	**Tiempo de la actividad (días)**	**Predecesores inmediatos**
A	2	—
B	4	A
C	5	A
D	2	B
E	1	B
F	8	B
G	3	D, E
H	5	F
I	4	F
J	7	G, H, I

   a) Dibuje el diagrama de red.
   b) Calcule la ruta crítica de este proyecto
   c) ¿Cuánta holgura tiene cada una de las actividades G, H e I?

2. Se conoce la siguiente información acerca de un proyecto.

Actividad	**Tiempo de la actividad (días)**	**Predecesores inmediatos**
A	7	—
B	2	A
C	4	A
D	4	B, C
E	4	D
F	3	E
G	5	E

   a) Dibuje el diagrama de red para este proyecto.
   b) Determine la ruta crítica y la duración del proyecto.
   c) Calcule la holgura de cada actividad.

3. Un proyecto para mejorar un proceso de facturación tiene las siguientes relaciones de precedencia y tiempos de actividades:

Actividad	**Tiempo de la actividad (semanas)**	**Predecesores inmediatos**
A	3	—
B	11	—
C	7	A
D	13	B, C
E	10	B
F	6	D
G	5	E
H	8	F, G

   a) Dibuje el diagrama de red.
   b) Calcule la holgura de cada actividad. ¿Qué actividades están en la ruta crítica?

4. Se dispone de la siguiente información acerca de un proyecto:

Actividad	Tiempo de la actividad (días)	Predecesores inmediatos
A	3	—
B	4	—
C	5	—
D	4	—
E	7	A
F	2	B, C, D
G	4	E, F
H	6	F
I	4	G
J	3	G
K	3	H

a) Dibuje el diagrama de red.

b) Encuentre la ruta crítica.

5. Se ha reunido la siguiente información para un proyecto:

Actividad	Tiempo de la actividad (semanas)	Predecesores inmediatos
A	4	—
B	7	A
C	9	B
D	3	B
E	14	D
F	10	C, D
G	11	F, E

a) Dibuje el diagrama de red.

b) Calcule la holgura de cada actividad y determine la ruta crítica. ¿Cuánto tiempo toma el proyecto?

6. Considere la siguiente información para el proyecto de agregar una ventanilla de atención en Crestview Bank.

Actividad	Tiempo de la actividad (semanas)	Predecesores inmediatos
A	5	—
B	2	—
C	6	—
D	2	A, B
E	7	B
F	3	D, C
G	9	E, C
H	11	F, G

a) Dibuje el diagrama de red para este proyecto.

b) Especifique la ruta crítica.

c) Calcule la holgura para las actividades A y D.

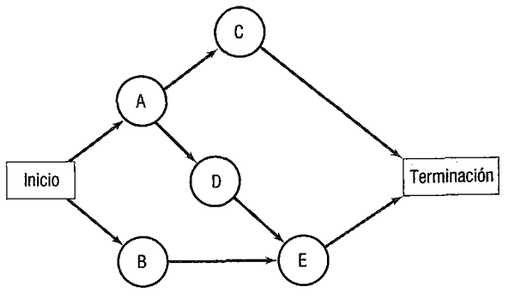
7. Barbara Gordon, la administradora de un proyecto para Web Ventures, Inc., construyó una tabla con las estimaciones de tiempos para cada actividad del proyecto para actualizar la página de Internet de la compañía, incluyó estimaciones optimista, más probable y pesimista.

a) Calcule el tiempo esperado, t_e, para cada actividad.

b) Calcule la varianza, σ^2, para cada actividad.

Actividad	Optimista (días)	Más probable (días)	Pesimista (días)
A	3	8	19
B	12	15	18
C	2	6	16
D	4	9	20
E	1	4	7

8. Recientemente, usted ha sido asignado como administrador de un proyecto para su compañía. Usted construyó un diagrama de red que describe las diferentes actividades (figura 2.13). Además, pidió a su equipo estimar el tiempo que esperarían que tome cada actividad. Sus respuestas se encuentran en la siguiente figura:



▲ **FIGURA 2.13**
Diagrama de red para su compañía

	ESTIMACIONES DE TIEMPO (DÍAS)		
Actividad	Optimista	Más probable	Pesimista
A	5	8	11
B	4	8	11
C	5	6	7
D	2	4	6
E	4	7	10

a) ¿Cuál es el tiempo esperado de terminación del proyecto?

b) ¿Cuál es la probabilidad de terminar el proyecto en 21 días?

c) ¿Cuál es la probabilidad de terminar el proyecto en 17 días?

9. En el problema resuelto 2, estime la probabilidad de que la ruta no crítica B–F–G tome más de 20 semanas. *Sugerencia:* reste de 1.0 la probabilidad de que B–F–G tome 20 semanas o menos.

10. Considere los siguientes datos para un proyecto que nunca antes se ha intentado en su compañía.

Actividad	Tiempo esperado t_e (semanas)	Predecesores inmediatos
A	5	—
B	3	—
C	2	A
D	5	B
E	4	C, D
F	7	D

a) Dibuje un diagrama de red para este proyecto.

b) Identifique la ruta crítica y estime la duración del proyecto.

c) Calcule la holgura para cada actividad.

11. La directora de educación continua de la Universidad Bluebird acaba de aprobar la planeación de un seminario de capacitación en ventas. Su asistente administrativa identificó las diferentes actividades que deben realizarse y sus relaciones de precedencia, como se muestra en la tabla 2.4.

TABLA 2.4 | ACTIVIDADES PARA EL SEMINARIO DE VENTAS

Actividad	Descripción	Predecesores inmediatos
A	Diseñar trípticos y anuncios del curso	—
B	Identificar profesores posibles	—
C	Preparar la descripción detallada del curso	—
D	Enviar trípticos y solicitudes de inscripción	A
E	Enviar solicitudes de profesores	B
F	Seleccionar profesores para el curso	C, E
G	Aceptar estudiantes	D
H	Seleccionar libro de texto	F
I	Ordenar y recibir libros	G, H
J	Preparar el salón de clases	G

Debido a la incertidumbre en la planeación del nuevo curso, la asistente también proporciona las siguientes estimaciones de tiempos para cada actividad:

	ESTIMACIONES DE TIEMPO (DÍAS)		
Actividad	Optimista	Más probable	Pesimista
A	5	7	8
B	6	8	12
C	3	4	5
D	11	17	25
E	8	10	12
F	3	4	5
G	4	8	9
H	5	7	9
I	8	11	17
J	4	4	4

La directora quiere realizar el seminario dentro de 47 días hábiles. ¿Cuál es la probabilidad de que todo esté listo a tiempo?

12. La tabla 2.5 contiene información acerca de un proyecto de limpieza del ambiente. Reduzca el proyecto tres semanas y encuentre el programa de costo mínimo. Suponga que los costos indirectos del proyecto y los costos de penalización son despreciables. Identifique las actividades que se pueden acelerar minimizando los costos de aceleración.

TABLA 2.5 | DATOS DEL PROYECTO AMBIENTAL

Actividad	Tiempo normal (semanas)	Tiempo acelerado (semanas)	Costo de aceleración ($/semana)	Predecesor inmediato
A	7	6	200	Ninguno
B	12	9	250	Ninguno
C	7	6	250	A
D	6	5	300	A
E	1	1	—	B
F	1	1	—	C, D
G	3	1	200	D, E
H	3	2	350	F
I	2	2	—	G

13. La compañía Advanced Tech tiene un proyecto para diseñar una base de datos integrada para un banco importante. Los datos del proyecto se dan en la tabla 2.6. Los costos indirectos del proyecto ascienden a $300 por día. La compañía incurrirá en una penalización de $150 por día, cada día que el proyecto se pase del día 14.

a) ¿Cuál es la duración de proyecto si solo se usan los tiempos normales?

b) ¿Cuál es el programa de costo mínimo?

c) ¿Cuál es la ruta crítica para el programa de costo mínimo?

TABLA 2.6 | DATOS DEL PROYECTO DE DISEÑO DE LA BASE DE DATOS

Actividad	Tiempo normal (días)	Costo normal ($)	Tiempo acelerado (días)	Costo acelerado ($)	Predecesores inmediatos
A	6	1,000	5	1,200	—
B	4	800	2	2,000	—
C	3	600	2	900	A, B
D	2	1,500	1	2,000	B
E	6	900	4	1,200	C, D
F	2	1,300	1	1,400	E
G	4	900	4	900	E
H	4	500	2	900	G

14. Usted es el administrador de un proyecto para mejorar un proceso de facturación en su empresa. La tabla 2.7 contiene los datos que necesitará para realizar un análisis de costo del proyecto. Los costos indirectos son $1,600 por semana y los costos de penalización son $1,200 por semana después de la semana 12.

a) ¿Cuál es el programa de costo mínimo para este proyecto?

b) ¿Cuál es la diferencia en el costo total del proyecto entre el tiempo de terminación más cercano y más lejano del proyecto usando los tiempos "normales" y el programa de costo mínimo que calculó en el inciso *a*)?

15. La tabla 2.8 contiene datos para la instalación de un nuevo equipo en un proceso de manufactura en Excello Corporation. Su compañía es responsable de la instalación del proyecto. Los costos indirectos son $15,000 por semana y su compañía incurrirá en un costo de penalización de $9,000 por semana, cada semana que el proyecto se pase de la semana nueve.

a) ¿Cuál es la duración más corta para este proyecto, independientemente del costo?

b) ¿Cuál es el costo total mínimo asociado con la terminación del proyecto en nueve semanas?

c) ¿Cuál es el tiempo total del programa de costo mínimo?

TABLA 2.7 | DATOS PARA EL PROYECTO DEL PROCESO DE FACTURACIÓN

Actividad	Predecesores inmediatos	Tiempo normal (semanas)	Tiempo acelerado (semanas)	Costo normal ($)	Costo acelerado ($)
A	—	4	1	5,000	8,000
B	—	5	3	8,000	10,000
C	A	1	1	4,000	4,000
D	B	6	3	6,000	12,000
E	B, C	7	6	4,000	7,000
F	D	7	6	4,000	7,000

TABLA 2.8 | DATOS PARA EL PROYECTO DE INSTALACIÓN DE EQUIPO

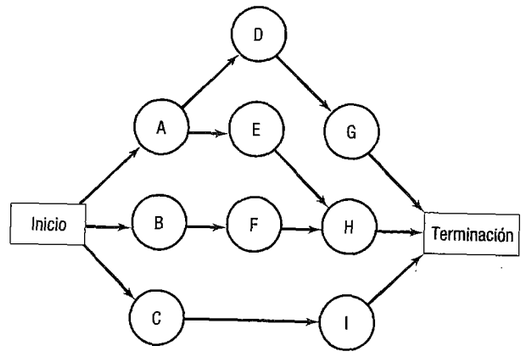
Actividad	Predecesores inmediatos	Tiempo normal (semanas)	Tiempo acelerado (semanas)	Costo normal ($)	Costo acelerado ($)
A	—	2	1	7,000	10,000
B	—	2	2	3,000	3,000
C	A	3	1	12,000	40,000
D	B	3	2	12,000	28,000
E	C	1	1	8,000	8,000
F	D, E	5	3	5,000	15,000
G	E	3	2	9,000	18,000

16. Gabrielle Kramer, dueña de Pet Paradise, está abriendo una nueva tienda en Columbus, Ohio. Su mayor preocupación es la contratación de un administrador y varios empleados que amen a los animales. También tiene que coordinar la renovación de un local que antes era una tienda de ropa elegante. Kramer reunió los datos mostrados en la tabla 2.9.

a) ¿Cuánto tiempo se espera que tome este proyecto?

b) Suponga que Kramer tiene una meta personal de terminar el proyecto en 14 semanas. ¿Cuál es la probabilidad de que logre esto tan rápido?

17. El diagrama de la figura 2.14 se desarrolló para un proyecto que usted va a administrar. Suponga que desea encontrar maneras de acelerarlo por un costo adicional mínimo. Determine el programa para terminar el proyecto en 25 días a un costo mínimo. Los costos de penalización y generales son despreciables. Los datos de tiempo y costo de cada actividad se muestran en la tabla 2.10.



▲ **FIGURA 2.14**
Diagrama de red para el problema 17

TABLA 2.9 | DATOS PARA EL PROYECTO DE PET PARADISE

Actividad	Descripción	Predecesores inmediatos	TIEMPO (SEMANAS)		
			a	*m*	*b*
A	Entrevistas para nuevo administrador	—	1	3	6
B	Renovar local	—	6	9	12
C	Colocar anuncio para empleados y entrevistar solicitantes	—	6	8	16
D	Organizar visita de prospectos para administrador	A	2	3	4
E	Comprar e instalar equipo para nueva tienda	B	1	3	11
F	Verificar referencias de solicitudes y hacer elección final	C	5	5	5
G	Verificar referencias para nuevo administrador y elegir	D	1	1	1
H	Reuniones de orientación y documentación para nómina	E, F, G	3	3	3

TABLA 2.10 | DATOS DE ACTIVIDAD Y COSTO DEL PROYECTO

Actividad	NORMAL		ACELERADO	
	Tiempo (días)	Costo ($)	Tiempo (días)	Costo ($)
A	12	1,300	11	1,900
B	13	1,050	9	1,500
C	18	3,000	16	4.500
D	9	2,000	5	3,000
E	12	650	10	1,100
F	8	700	7	1,050
G	8	1,550	6	1,950
H	2	600	1	800
I	4	2,200	2	4,000

18. Paul Silver, dueño de Sculptures International, acaba de iniciar un nuevo proyecto de arte. Dispone de los siguientes datos para el mismo.

Actividad	Tiempo de actividad (días)	Predecesores inmediatos
A	4	—
B	1	—
C	3	A
D	2	B
E	3	C, D

a) Dibuje un diagrama de red para el proyecto.

b) Determine la ruta crítica del proyecto y la duración.

c) ¿Cuál es la holgura de cada actividad?

19. Reliable Garage está terminando la producción del automóvil para armar J2000. Se dispone de los siguientes datos para el proyecto.

Actividad	Tiempo de la actividad (días)	Predecesores inmediatos
A	2	—
B	6	A
C	4	B
D	5	C
E	7	C
F	5	C
G	5	F
H	3	D, E, G

a) Dibuje el diagrama de red para el proyecto.

b) Determine la ruta crítica del proyecto y la duración.

c) ¿Cuál es la holgura de cada actividad?

20. La siguiente información se refiere a un nuevo proyecto que emprenderá su compañía:

Actividad	Tiempo de la actividad (días)	Predecesores inmediatos
A	10	—
B	11	—
C	9	A, B
D	5	A, B
E	8	A, B
F	13	C, E
G	5	C, D
H	10	G
I	6	F, G
J	9	E, H
K	11	I, J

a) Dibuje un diagrama de red para este proyecto.

b) Determine la ruta crítica y el tiempo de terminación del proyecto.

Problemas avanzados

21. El administrador del proyecto Good Public Relations reunió los datos mostrados en la tabla 2.11 para una nueva campaña de publicidad.

a) ¿Cuánto tiempo tomará este proyecto?

b) ¿Cuál es la probabilidad de que el proyecto tome más de 38 semanas?

c) Considere la ruta A–E–G–H–J. ¿Cuál es la probabilidad de que esta ruta exceda 38 semanas?

TABLA 2.11 | DATOS DE LAS ACTIVIDADES PARA EL PROYECTO DE PUBLICIDAD

	ESTIMACIONES DE TIEMPO (SEMANAS)			
Actividad	**Optimista**	**Más probable**	**Pesimista**	**Predecesores inmediatos**
A	8	10	12	INICIO
B	5	8	17	INICIO
C	7	8	9	INICIO
D	1	2	3	B
E	8	10	12	A, C
F	5	6	7	D, E
G	1	3	5	D, E
H	2	5	8	F, G
I	2	4	6	G
J	4	5	8	H
K	2	2	2	H

22. Considere los datos del proyecto de renovación de oficina de la tabla 2.12. Una estimación de "cero" significa que la actividad puede tomar un tiempo muy pequeño y debe tratarse como un cero numérico en el análisis.

a) Con base en la ruta crítica, encuentre la probabilidad de terminar el proyecto de renovación en 39 días.

b) Encuentre la fecha para la cual estaría 90% seguro de terminar el proyecto.

TABLA 2.12 | DATOS PARA EL PROYECTO DE RENOVACIÓN DE OFICINA

	ESTIMACIONES DE TIEMPO (DÍAS)			
Actividad	**Optimista**	**Más probable**	**Pesimista**	**Predecesores inmediatos**
INICIO	0	0	0	—
A	6	10	14	INICIO
B	0	1	2	A
C	16	20	30	A
D	3	5	7	B
E	2	3	4	D
F	7	10	13	C
G	1	2	3	D
H	0	2	4	G
I	2	2	2	C, G
J	2	3	4	I
K	0	1	2	H
L	1	2	3	J, K
TERMINACIÓN	0	0	0	E, F, L

23. Usted está a cargo de un proyecto en el centro comunitario local. El centro necesita remodelar uno de sus salones a tiempo para el inicio del nuevo programa. Los retrasos en el proyecto significan que el centro debe rentar otro espacio en una iglesia cercana por un costo adicional. Los datos de tiempo y costo de su proyecto se encuentran en la tabla 2.13. Su interés es minimizar el costo del proyecto para el centro comunitario.

a) Utilice los *tiempos normales* para cada actividad, ¿cuál es la fecha más cercana en que puede terminar el proyecto?

b) Suponga que los costos generales son de $50 por día para su proyecto. Suponga además que el centro debe pagar a $40 por día el espacio temporal, a partir del día 15 en adelante. Encuentre el programa del proyecto de costo mínimo.

TABLA 2.13 | DATOS PARA EL PROYECTO DEL CENTRO COMUNITARIO

Actividad	Tiempo normal (días)	Costo normal ($)	Tiempo acelerado (días)	Costo acelerado ($)	Predecesores inmediatos
INICIO	0	0	0	0	—
A	10	50	8	150	INICIO
B	4	40	2	200	INICIO
C	7	70	6	160	B
D	2	20	1	50	A, C
E	3	30	3	30	A, C
F	8	80	5	290	B
G	5	50	4	180	D
H	6	60	3	180	E, F
TERMINACIÓN	0	0	0	0	G, H

24. La información de la tabla 2.14 está disponible para un proyecto grande para recabar fondos.

a) Determine la ruta crítica y el tiempo esperado de terminación del proyecto.

b) Grafique el costo total del proyecto, comenzando el día uno hasta la fecha de terminación esperada, si tomamos los tiempos de inicio más cercanos para cada actividad. Compare ese resultado con una gráfica similar para los tiempos de inicio más lejano. ¿Qué implicación tiene la diferencia en los tiempos para los flujos de efectivo y la programación del proyecto?

25. Usted es el administrador del proyecto de instalación de software de la tabla 2.15. Desea encontrar el programa de costo mínimo para su proyecto. Existe una penalización de $1,000 por semana, por cada semana de retraso después de la semana 25. Además, su equipo de proyecto determinó que los costos indirectos son $2,500 por semana.

a) ¿Cuál sería su semana de terminación meta?

b) ¿Cuánto ahorraría en el costo total del proyecto con su programación?

TABLA 2.14 | DATOS DEL PROYECTO PARA RECABAR FONDOS

Actividad	Tiempo de la actividad (días)	Costo de la actividad ($)	Predecesores inmediatos
A	3	100	—
B	4	150	—
C	2	125	A
D	5	175	B
E	3	150	B
F	4	200	C, D
G	6	75	C
H	2	50	C, D, E
I	1	100	E
J	4	75	D, E
K	3	150	F, G
L	3	150	G, H, I
M	2	100	I, J
N	4	175	K, M
O	1	200	H, M
P	5	150	N, L, O

TABLA 2.15 | DATOS PARA EL PROYECTO DE INSTALACIÓN DE SOFTWARE

Actividad	Predecesores inmediatos	Tiempo normal (semana)	Costo normal ($)	Tiempo acelerado (semana)	Costo acelerado ($)
A	—	5	2,000	3	4,000
B	—	8	5,000	7	8,000
C	A	10	10,000	8	12,000
D	A, B	4	3,000	3	7,000
E	B	3	4,000	2	5,000
F	D	9	8,000	6	14,000
G	E, F	2	2,000	2	2,000
H	G	8	6,000	5	9,000
I	C, F	9	7,000	7	15,000

26. Considere el proyecto descrito en la tabla 2.16.

a) Si comienza el proyecto de inmediato, ¿cuándo estará terminado?

b) Le interesa terminar su proyecto lo más pronto posible. Solo tiene una opción. Suponga que puede asignar al empleado A, que actualmente está asignado a la actividad G, para ayudar al empleado B, que está asignado a la actividad F. Cada semana que el empleado A ayuda al empleado B da como resultado que la actividad G aumenta su tiempo una semana y la actividad F reduce su tiempo una semana. ¿Cuántas semanas debe el empleado A trabajar en la actividad F?

TABLA 2.16 | DATOS DEL PROYECTO DEL PROBLEMA 26

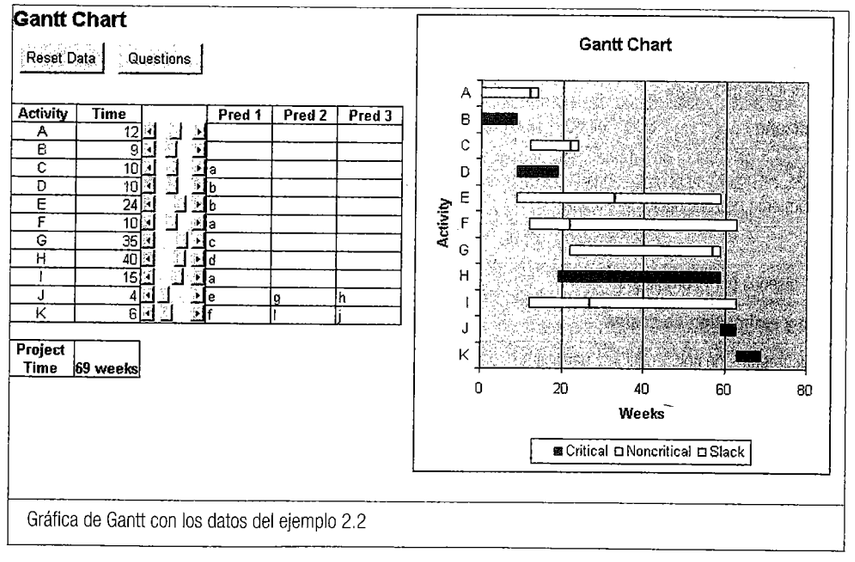
Actividad	Tiempo de la actividad (semanas)	Predecesor inmediato
INICIO	0	—
A	3	INICIO
B	4	INICIO
C	4	B
D	4	A
E	5	A, B
F	6	D, E
G	2	C, E
TERMINACIÓN	0	F, G

Ejercicio de modelo activo

El modelo activo aparece en MyOMLab. Le permite evaluar la sensibilidad del tiempo del proyecto a cambios en los lapsos de las actividades y en las relaciones de precedencia.

PREGUNTAS

1. La actividad B y la actividad K son críticas. Describa la diferencia que ocurre en la gráfica al aumentar la actividad B en lugar de incrementar la actividad K.
2. La actividad F no es crítica. Utilice la barra de desplazamiento para determinar cuántas semanas aumenta la actividad F hasta que se vuelva crítica.
3. La actividad A no es crítica. ¿Cuántas semanas puede aumentar en A hasta que se convierta en crítica?
4. ¿Qué ocurre cuando incrementa la actividad A una semana después de que se convierte en crítica?
5. Suponga que escribir códigos puede cambiar y, como resultado, la actividad C podría tener que terminar antes de iniciar la actividad D. ¿Cómo afecta esto al proyecto?



Gráfica de Gantt con los datos del ejemplo 2.2

CASO EN VIDEO Administración de proyectos en el Phoenician

El hotel Phoenician en Phoenix, Arizona, es parte de la colección de lujo de Starwood y es el único complejo turístico con el premio AAA Five Diamond Award en el suroeste de Estados Unidos. La sofisticación y elegancia, aunado a la excelencia, solo comienzan a describir la experiencia del cliente en el hotel. Los huéspedes pueden cenar en uno de los nueve restaurantes, relajarse en la alberca, jugar tenis, jugar 27 hoyos en tres campos de nueve hoyos o relajarse con una variedad de tratamientos de spa en los 22,000 pies cuadrados del Centro de Bienestar.

El Phoenician emprendió recientemente un ambicioso programa de $38 millones para la renovación del spa y el golf. Los programas de spa y golf, por tradición, ganan las marcas más altas en las encuestas de su industria a través de los años, pero el entorno estaba cambiando. La evidencia de este cambio se vio en el crecimiento explosivo de nuevos campos de golf y spas en la región. Phoenix solo tiene más de 275 campos de golf y el suroeste cuenta con las concentraciones más grandes de nuevos spas de lujo. Las instalaciones del Phoenician, aunque de clase mundial y con altas calificaciones, tienen más de 15 años. El reciente premio Five Diamond renovó el entusiasmo por poner cada servicio y proceso en la propiedad a la altura de los Cinco Diamantes.

La decisión de renovar el campo de golf y el spa se volvió no una cuestión de *decidir hacerlo*, sino de *qué nivel* debía buscar. Las consideraciones clave se centraron en: **1.** si construir instalaciones básicas o comprometerse al lujo grandioso, **2.** tener una reputación nacional o internacional y **3.** desarrollar paquetes creativos en las nuevas instalaciones para atraer a los clientes leales, como una especie de programa de membresía tipo "Country Club" con golf y spa. Este programa estaría limitado a cerca de 600 miembros spa/golf, con una cuota anual de $65,000 cada uno.

La alta administración de la compañía considera tres opciones para el spa del Centro de Bienestar. Primero, el espacio existente en el corazón del complejo puede renovarse. Esta opción requiere reubicar el spa en otra parte del complejo y ofrecer un número limitado de tratamientos durante este tiempo, reduciendo con ello los ingresos significativos del spa. Con la opción dos, se puede cavar en un terreno accidentado atrás del complejo y crear una nueva instalación al lado de la montaña con vistas majestuosas. Esta opción significa cerrar uno de los edificios del hotel con 60 habitaciones y suites durante la construcción. El spa existente podría seguir abierto. Con la opción tres, se utiliza una estructura de estacionamiento existente en terrenos del hotel, que tiene el menor impacto en los ingresos. La primera opción se ve como un arreglo a corto plazo, mientras que las otras dos parecen tener un potencial a un plazo más largo.

Una discusión adicional se centró en el tipo de spa que se construiría. Una opción era la reciente adquisición de la marca Bliss de spa para los Hoteles W de Starwood que ofrece comodidades para el spa por un día y una atmósfera de satisfacción. La segunda opción era permanecer como un spa holístico con énfasis en la salud y la restauración. La tercera opción era convertirse en un destino spa con estancias dedicadas a los huéspedes y programas de una semana. Los spa por un día son la categoría con mayor crecimiento, con pocos spa de destino.

El equipo de administración del Phoenician, con ayuda de las oficinas corporativas y de operaciones en campo de Starwood, preparó un análisis extenso de las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas para comprender mejor el entorno. El equipo utilizó el resultado de este análisis para identificar un conjunto de actividades necesarias para cada opción. El grupo corporativo de diseño y construcción desarrolló los planes arquitectónicos e ingenieriles, así como la estructura de trabajo desglosada y los diagramas con la ruta crítica para las opciones posibles. La estructura de trabajo desglosada, los tiempos de actividades y sus relaciones de precedencia se muestran en la tabla anterior.

Estructura de trabajo desglosada	Tiempo de actividad (días)	Relaciones de precedencia de actividades
Concepción del proyecto		
A. Reunión de inicio	2	
B. Creación de especificaciones del spa	30	A
Investigación geotécnica		
C. Caracterización preliminar del sitio	10	B
D. Investigación del subsuelo	10	C
E. Pruebas de laboratorio	5	D
F. Evaluación de peligros geológicos	10	E
Desarrollo del diseño		
G. Diseños iniciales	70	B
H. Plan de cumplimiento de zonificación preliminar	15	C, G
I. Diseños finales	18	H
J. Aprobación de diseños por el propietario	5	I
Documentación y estimación de costos		
K. Paquete de documentos de construcción y paisajismo	80	F, I
L. Obtención de estimaciones y licitaciones de contratistas	90	J, K
Decisión		
M. Aprobación del propietario de uno de los tres proyectos	60	L

PREGUNTAS

1. Siempre es un reto coordinar a los departamentos en un proyecto importante. ¿Qué departamentos dentro de la organización de Starwood es probable que participen en cada una de las siguientes actividades relacionadas con el proyecto?
   - **a)** Definir y organizar el proyecto
   - **b)** Planear el proyecto
   - **c)** Monitorear y controlar el proyecto
2. Muchas veces, los tomadores de decisiones del proyecto no confían solo en las limitaciones financieras, como retorno sobre la inversión o tasas internas de retorno, sino que dan una gran importancia a los factores intangibles. ¿Cuáles son los factores intangibles destacados que se asocian con la selección de una de las tres opciones para el spa?
3. El tiempo siempre es un reto en la administración de proyectos. Construya un diagrama de red para el proceso de selección del spa. ¿Qué tan pronto puede la administración del Phoenician tomar la decisión acerca del spa?

Pearson

Cuando el Phoenician, un hotel de lujo en Phoenix, Arizona, buscó el rediseño de su Centro de Bienestar, su equipo de administración creó una estructura desglosada de trabajo para comparar las diferentes opciones de proyecto y eligió la mejor.

CASO El Pert Mustang

Roberts Auto Sales and Service (RASAS) está formado por tres distribuidores de autos que venden varias marcas de automóviles estadounidenses y japoneses, dos refaccionarias, un taller grande de hojalatería y pintura y un deshuesadero. Vicky Toberts, dueña de RASAS, entró al negocio de automóviles cuando heredó una distribuidora Ford de su padre. Ella pudo capitalizar su experiencia y conocimiento para convertir a su negocio en el minilimperio exitoso y diversificado que es hoy. Su lema, "Véndelos hoy, repáralos mañana" refleja una estrategia que en privado llama "tenlos yendo y viniendo".

Roberts siempre ha tenido un lugar en su corazón para el alto rendimiento de los Mustang y acaba de adquirir un Mustang Shelby GT 350, año 1965, que necesita mucha restauración. También observa el creciente interés del público por la restauración de automóviles de época. Roberts está pensando expandirse al negocio de la restauración de vehículos antiguos y necesita ayuda para evaluar su factibilidad. Desea restaurar su Mustang Shelby 1965 y dejarlo en perfecto estado, o lo más cerca posible. Si decide entrar al negocio de la restauración, puede usar el Mustang como exhibición en ventas y publicidad y llevarlo a salones del automóvil para atraer clientes a su nuevo taller.

Roberts piensa que muchas personas desean la emoción de restaurar un automóvil viejo por sí mismas, pero no tienen tiempo para buscar refacciones. Otras solo quieren poseer un auto antiguo porque es diferente y muchos tienen dinero para pagar alguien que restaure un auto para ellas.

Roberts piensa que el nuevo negocio debe llamar a ambos tipos de clientes. Para el primer grupo, se ve a sí misma como corredor de partes "nuevas para viejos", partes que se fabricaron hace muchos años y todavía están en sus empaques originales. Puede ser un proceso tardado encontrar la pieza correcta. RASAS también podría adaptar nuevas partes como réplicas de las que son difíciles de conseguir y ya no existen.

Además, RASAS puede reunir una biblioteca de manuales para automóviles viejos para tener un recurso de información para los restauradores de "hazlo tú mismo". Ellos podrían pedir a RASAS ayuda en la compilación de la lista de partes y RASAS podría comprar las partes para ellos. Para los otros, RASAS se haría cargo por completo de la restauración.

Roberts pide al director de operaciones de servicio que revise su Mustang y determine qué debe hacerse para restaurarlo a la condición en que estaba cuando salió de la fábrica, hace más de 40 años. Ella quiere restaurar este vehículo a tiempo para exhibirlo en la muestra de automóviles de Detroit. Si el auto obtiene muchos comentarios en la prensa, será un buen golpe de relaciones públicas para RASAS, en especial si Roberts decide entrar en este negocio. Aun cuando no lo haga, el automóvil será una pieza de muestra para el resto del negocio.

Roberts pide al director de servicio de operaciones que prepare un reporte de lo que se necesita para la restauración y si se puede lograr a tiempo para Detroit, en 45 días hábiles, usando PERT/CPM. El gerente de partes, el de hojalatería y el jefe de mecánica le proporcionaron las siguientes estimaciones de tiempos y de las actividades que deben realizarse, al igual que las estimaciones de costos:

- **a)** Ordenar todo el material y las partes (tapicería, parabrisas, carburador y bomba de aceite). Tiempo: dos días. Costo (llamadas telefónicas y mano de obra): $100.
- **b)** Recibir material de tapicería para los asientos. No puede iniciar hasta que se coloque la orden. Tiempo: 30 días. Costo: $2,100.
- **c)** Recibir parabrisas. No puede iniciar hasta que se coloque la orden. Tiempo: 10 días. Costo: $800.
- **d)** Recibir carburador y bomba de aceite. No puede iniciar hasta que se coloque la orden. Tiempo: siete días. Costo: $1,750.
- **e)** Remover el cromo del cuerpo del automóvil. Puede iniciar de inmediato. Tiempo: un día. Costo: $200.
- **f)** Desarmar cuerpo (puertas, toldo, cajuela y defensas). No puede iniciar sino hasta que se quite el cromo. Tiempo: un día. Costo: $300.
- **g)** Reparar defensas por medio de hojalatería. No puede iniciar sino hasta que esté desarmado. Tiempo: cuatro días. Costo: $1,000.
- **h)** Reparar puertas, cajuela y toldo. No puede iniciar sino hasta que esté desarmado. Tiempo: seis días. Costo: $1,500.
- **i)** Separar motor del chasis. No puede iniciar hasta que esté desarmado. Tiempo: un día. Costo: $200.
- **j)** Quitar óxido del marco. Inicia después de separar el motor del chasis. Tiempo: tres días. Costo: $900.

k) Rectificar válvulas del motor. Inicia después de separar el motor del chasis. Tiempo: cinco días. Costo: $1,000.

l) Reemplazar carburador y bomba de aceite. Inicia después de separar el motor y después de recibir el carburador y la bomba. Tiempo: un día. Costo: $200.

m) Recromar las partes de cromo. El cromo debe haberse quitado del cuerpo antes. Tiempo: tres días. Costo: $210.

n) Reinstalar motor. Inicia después de rectificar las válvulas e instalar el carburador y la bomba. Tiempo: un día. Costo: $200.

o) Colocar puertas, toldo y cajuela en el marco. Las tres cosas deben estar reparadas antes. El marco no debe tener óxido. Tiempo: un día. Costo: $240.

p) Reconstruir la transmisión y reemplazar los frenos. Se hace después de reinstalar motor, puertas, toldo y cajuela en el marco. Tiempo: cuatro días. Costo: $2,000.

q) Reemplazar el parabrisas. Inicia después de recibir el parabrisas. Tiempo: un día. Costo: $100.

r) Colocar defensas. Las defensas deben estar reparadas, la transmisión reconstruida y los frenos cambiados. Tiempo: un día. Costo: $100.

s) Pintar el auto. No puede iniciar sino hasta que las defensas y el parabrisas estén colocados. Tiempo: cuatro días. Costo: $1,700.

t) Retapizar el interior del vehículo. Deben haberse recibido los materiales. El automóvil debe estar pintado. Tiempo: siete días. Costo: $100.

u) Colocar partes de cromo. El vehículo debe estar pintado y las partes recromadas. Tiempo: un día. Costo: $100.

v) Llevar el automóvil a Detroit para la presentación. Debe estar terminada la tapicería y colocadas las partes cromadas. Tiempo: dos días. Costo: $1,000.

Roberts desea limitar los gastos de este proyecto a lo que pueda recuperar al vender el automóvil restaurado. Ya gastó $50,000 para adquirirlo. Además, quiere un informe breve de los aspectos del negocio propuesto; por ejemplo, cómo encaja con los otros negocios de RASAS y cómo debe ser la operación de RASAS respecto a costo, calidad, servicio al cliente y flexibilidad.

En el negocio de restauración existen varias categorías. Una restauración básica hace que el vehículo se vea bien y funcione, pero una restauración a perfecto estado pone al automóvil en su condición original: como estaba "cuando salió de la línea". Cuando se revenden los vehículos restaurados, uno en perfecto estado tiene un precio mucho más alto que uno que tuvo una restauración básica. Al restaurar automóviles, también se pueden personalizar; esto es, se coloca en el vehículo algo que pudo no estar en el original. Roberts quiere restauración al estado perfecto para su Mustang, sin personalización. (El propósito del nuevo negocio sería aceptar cualquier tipo de restauración que el cliente desee).

El presupuesto total no debe exceder $70,000, incluyendo los $50,000 que ya pagó. Además, Roberts no puede gastar más de $3,600 en cualquier semana, dada su posición financiera actual. Aun cuando gran parte del trabajo lo harán los empleados de Roberts, deben considerarse los costos de mano de obra y materiales. Todos los costos relevantes se incluyeron en las estimaciones de costos.

PREGUNTAS

1. Utilice la información proporcionada para preparar el reporte que pidió Vicky Roberts, suponiendo que el proyecto comenzará de inmediato. Suponga 45 días hábiles disponibles para completar el proyecto, incluido el transporte a Detroit antes de la exhibición. Su reporte debe tener un análisis breve de los aspectos del nuevo negocio propuesto, como las prioridades competitivas que Roberts pidió.
2. Construya una tabla con las actividades del proyecto usando las letras asignadas a cada actividad, las estimaciones de tiempo y las relaciones de precedencia a partir de las cuales dibujó un diagrama.
3. Dibuje un diagrama de red del proyecto similar al de la figura 2.4. *Determine las actividades críticas y estime las holguras de cada* actividad.
4. Prepare un presupuesto para el proyecto que muestre el costo de cada actividad y el total para el proyecto. ¿Puede el proyecto terminar dentro del presupuesto? ¿Requerirá el proyecto más de $3,600 en cualquier semana? Para responder estas preguntas, suponga que las actividades B, C y D deben pagarse cuando se recibe el artículo (el tiempo de terminación más cercano para la actividad). Suponga que los costos de todas las otras actividades que se extienden más de una semana se pueden prorratear. Cada semana tiene cinco días hábiles. Si surgen problemas, ¿cómo podrá Roberts superarlos?

Fuente: Este caso fue elaborado por el doctor Sue P. Siferd, Profesor emérito de Arizona State University (actualizado en septiembre de 2007), quien dio su permiso para su publicación.

Referencias seleccionadas

Goldratt, E.M. *Critical Chain.* Great Barrington, MA: North River, 1997.

Hartvigsen, David. *SimQuick: Process Simulation with Excel.* 2a ed., Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2004.

Kerzner, Harold. *Advanced Project Management: Best Practices on Implementation,* 2a ed., Nueva York: John Wiley & Sons, 2004.

Kerzner, Harold. *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling,* 10a ed., Nueva York: John Wiley & Sons, 2009.

Lewis, J. P. *Mastering Project Management,* 2a ed., Nueva York: McGraw-Hill, 2001.

Mantel Jr., Samuel J., Jack R. Meredith, Scott M. Shafer y Margaret M. Sutton. *Project Management in Practice,* 3a ed., Nueva York: John Wiley & Sons, 2007.

Meredith, Jack R. y Samuel J. Mantel, *Project Management: A Managerial Approach,* 6a ed., Nueva York: John Wiley & Sons, 2005.

Muir, Nancy C. *Microsoft Project 2007 for Dummies,* Nueva York: John Wiley & Sons, 2006.

Nicholas, John M. y Herman Stein. *Project Management for Business, Engineering, and Technology,* 3a ed., Burlington, MA: Butterworth-Heinemann, 2008.

"A Guide to Project Management Body of Knowledge", 2008. Available from the Project Management Institute at www.pmi.org.

Srinivasan, Mandyam, Darren Jones y Alex Miller. "CORPS Capabilities." *APICS Magazine* (marzo, 2005), pp. 46-50.

Don Ryan/AP Photos

3 ESTRATEGIA DE PROCESOS

En cualquier momento dado, eBay tiene aproximadamente 113 millones de listados en todo el mundo, pero su fuerza de trabajo consiste en 15,500 empleados. ¿Cuál es la explicación? Que los clientes hacen casi todo el trabajo en los procesos de compraventa de eBay. En la foto, un cliente prepara artículos para enviar, resultado de las ventas de su cuenta en eBay.

eBay

Muchos fabricantes no tienen que lidiar con clientes danzando en sus plantas, llegando de manera intermitente y sin anunciarse. Este tipo de situaciones puede causar una variabilidad considerable e interrumpir los procesos de producción diseñados con tanto cuidado. Los costos y la calidad pueden tener consecuencias adversas. El contacto con los clientes es importante aun para los fabricantes (cada proceso tiene al menos un cliente), el contacto amplio con el mismo y su participación es el negocio usual para muchos procesos de proveedores de servicios. Los clientes en un restaurante o una agencia de renta de vehículos están directamente involucrados en la realización del proceso. El área en la que un agente de ventas interactúa con el cliente es el área de la tienda.

¿Cuánto debe involucrarse a los clientes en un proceso para proporcionar entrega a tiempo, calidad uniforme y costo sustentable? Existen varias maneras, algunas admiten la variabilidad introducida por el cliente y algunas la reducen. eBay ilustra una manera de admitir la variabilidad. Como una casa de subastas en línea, eBay tiene una alta variabilidad en volumen y pedidos. Sus clientes no quieren el servicio al mismo tiempo o en momentos convenientes para la compañía. Tienen variabilidad en sus pedidos, buscan comprar y vender un sinnúmero de artículos. También tienen confianza en las capacidades de los clientes, algunos con mucha experiencia en Internet y otros que necesitan que los lleven de la mano. Esa versatilidad complicaría mucho la programación de la fuerza de trabajo si eBay requiriera que sus empleados realizaran todos los procesos. Esta empresa conecta a millones de personas alrededor del mundo todos los días. Tiene una presencia global en 39 mercados, con

estrategia de procesos
Patrón de decisiones tomadas al administrar procesos, de manera que logren sus prioridades competitivas.

ingresos de $9.2 miles de millones en más de 50,000 categorías, y esto solo con 15,500 empleados. Esta fuerza de trabajo relativamente pequeña se hace posible ante la variabilidad inducida por el cliente, porque sus clientes realizan prácticamente todos los procesos de compra y venta a través del sitio de eBay en la Web. Cuando el cliente es responsable de gran parte del trabajo, se está proporcionando a la persona correcta en el momento correcto para realizarlo.

Fuente: Frances X. Frei, "Breaking the Trade-Off between Efficiency and Service", *Harvard Business Review* (noviembre, 2006), pp. 93-101; **http://en.wikipedia.org/wiki/Ebay** (19 de noviembre, 2011).

METAS DE APRENDIZAJE *Después de estudiar este capítulo, usted será capaz de:*

1. Explicar por qué existen procesos en todos lados en las organizaciones.
2. Analizar las cuatro decisiones clave de procesos.
3. Posicionar un proceso en la matriz cliente-contacto o en la matriz producto-proceso.
4. Configurar las operaciones en una distribución de planta.
5. Definir participación del cliente, flexibilidad de recursos, intensidad de capital y economías de alcance.
6. Analizar cómo las decisiones de proceso deben funcionar juntas.
7. Definir reingeniería de proceso y mejora del proceso.

Creación de valor mediante la administración de operaciones

Utilización de las operaciones para competir
Administración de proyectos

Administración de procesos

Estrategia de procesos
Análisis de procesos
Calidad y desempeño
Administración de restricciones
Sistemas esbeltos

Administración de la cadena de suministro

Administración del inventario de la cadena de suministro
Diseño de la cadena de suministro
Decisiones de localización de la cadena de suministro
Integración de la cadena de suministro
Sustentabilidad de la cadena de suministro y logística humanitaria
Pronósticos
Planeación y programación de las operaciones
Planeación de recursos

Las decisiones de proceso, como la cantidad de participación del cliente permitida en eBay, son estratégicas por naturaleza: como se vio en el capítulo 1, deben complementar las metas competitivas de una compañía en el largo plazo. Al tomar decisiones de proceso, los administradores se centran el control de las prioridades competitivas como calidad, flexibilidad, tiempo y costo. Administrar un proceso es una actividad en curso, donde los mismos principios se aplican a las opciones de primera vez y de rediseño.

En este capítulo estudiaremos la **estrategia de proceso**, que especifica el patrón de decisiones tomadas en la administración de procesos, de manera que estos logren sus prioridades competitivas. La estrategia de procesos guía una variedad de decisiones de procesos y, a su vez, está guiada por la estrategia de operaciones y la habilidad de la organización para obtener los recursos necesarios para apoyarlos. Comenzamos por definir cuatro decisiones de proceso básicas: **1.** estructura del proceso (incluye la disposición física), **2.** participación del cliente, **3.** flexibilidad de recursos, y **4.** intensidad de capital. Se analizarán estas decisiones para los servicios y los procesos de manufactura. Pondremos particular atención en la manera en que estas decisiones funcionan juntas, dependiendo de factores como prioridades competitivas, contacto con el cliente y volumen. Concluimos con dos estrategias de cambio básicas para analizar y modificar los procesos: **1.** reingeniería de procesos y **2.** mejora del proceso.

Tres principios que rigen la estrategia de procesos son en especial importantes:

1. La clave para las decisiones de proceso exitosas es elegir opciones que se ajusten a la situación y que tienen sentido juntas. No deben tener propósitos cruzados, con un proceso optimizado a costa de otros. Un proceso más efectivo es el que se ajusta a las características clave del proceso y tiene una *estrategia que concuerda.*
2. Aunque esta sección del libro está dedicada a los procesos individuales, son los pilares que con el tiempo crean toda la cadena de suministro de la empresa. El efecto acumulado sobre la satisfacción del cliente y la ventaja competitiva son enormes.
3. Ya sea que los procesos en la cadena de suministro sean internos o los realicen proveedores externos y clientes, la administración debe poner atención en las interferencias entre procesos. Manejar estas interferencias subraya la necesidad de la coordinación entre áreas funcionales.

Estrategia de procesos en toda la organización

Como se explicó en el capítulo 1, los procesos están en todos lados y constituyen la unidad básica de trabajo. Considere los dos puntos importantes siguientes: **1.** las cadenas de suministro tienen procesos y **2.** estos se encuentran en toda la organización y no solo en las operaciones.

Las cadenas de suministro tienen procesos

Las partes 2 y 3 de este libro versan sobre la administración de operaciones y se titulan: Administración de procesos y Administración de las cadenas de suministro. Si infiere que las dos partes son aspectos esenciales de la administración de operaciones, está en lo correcto. Si también infiere que solo la parte 2 trata de procesos, estará equivocado. La conclusión correcta es que la parte 3 se refiere a la administración de los **procesos de la cadena de suministro**, que son procesos de negocios que tienen clientes o proveedores externos. La tabla 3.1 ilustra algunos procesos comunes de la cadena de suministro.

procesos de la cadena de suministro
Procesos de negocios que tienen clientes o proveedores externos.

TABLA 3.1 | EJEMPLOS DE PROCESOS DE LA CADENA DE SUMINISTRO

Proceso	Descripción	Proceso	Descripción
Subcontratación (outsourcing)	Explorar la mejor opción entre los proveedores disponibles para realizar el proceso en términos de precio, calidad, tiempo de entrega y aspectos ambientales.	**Servicio al cliente**	Proporcionar información para responder a preguntas o resolver problemas usando servicios de información automatizados al igual que contacto personal con los clientes.
Almacenaje	Recibir envíos de los proveedores, verificar calidad, colocar en inventario y reportar el recibo para los registros de inventario.	**Logística**	Seleccionar el modo de transporte (tren, barco, camión, avión o ductos), programar la entrada y salida de envíos y proporcionar un almacén de inventario intermedio.
Abastecimiento	Seleccionar, certificar y evaluar proveedores y administrar los contratos con proveedores.	**Cruce de andén**	Empaque de productos de envíos entrantes para facilitar la economía en la clasificación de los envíos que salen de los almacenes intermedios hacia su destino final.

Estos procesos de la cadena de suministro deben documentarse y analizarse para mejorarlos, examinarse para mejorar la calidad y el control, así como evaluarse en términos de capacidad y cuellos de botella. Y los temas no se repiten en la parte 3, que se dedica a examinar aspectos más amplios en la administración de la cadena de suministro, pero que son esenciales para manejar sus procesos. Los procesos de la cadena de suministro solo serán tan buenos como los procedimientos dentro de la organización que nada más tienen proveedores y clientes internos. Cada proceso en la cadena, de los proveedores a los clientes, debe diseñarse para lograr sus prioridades competitivas y agregar valor al trabajo realizado.

Los procesos no están solo en las operaciones

Los procesos se encuentran en contabilidad, finanzas, recursos humanos, administración de sistemas de información y marketing. La estructura organizacional varía entre las diferentes industrias, pero en su mayor parte, todas las organizaciones realizan procesos de negocios similares. La tabla 3.2 enumera una muestra de procesos que están fuera del área de operaciones. Todos estos procesos se deben administrar. Lo que aprenda en la parte 2 se aplica a todas estas funciones de negocios.

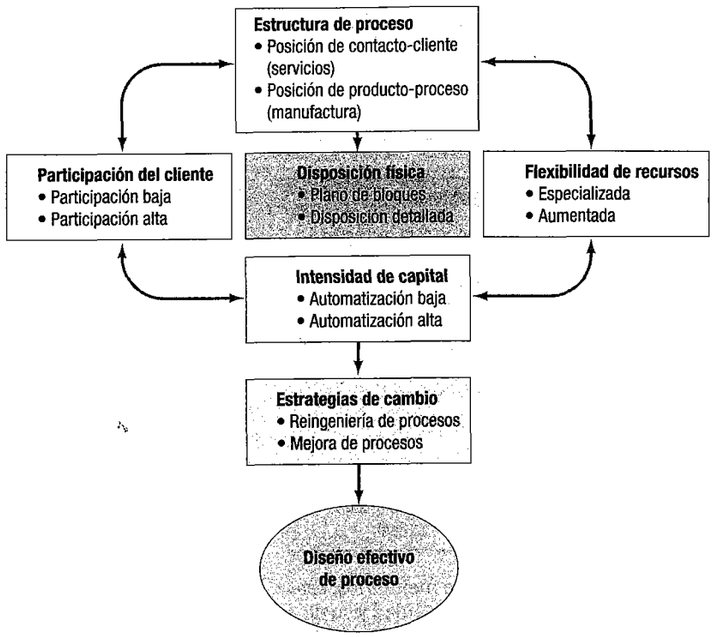
TABLA 3.2 | PROCESOS DE NEGOCIOS ILUSTRATIVOS FUERA DEL ÁREA DE OPERACIONES

Costeo por actividades	Desarrollo de empleados	Nómina
Administración de activos	Reclutamiento de personal	Administración de registros
Presupuesto de facturación	Capacitación de empleados	Investigación y desarrollo
Manejo de quejas	Ingeniería	Ventas
Administración de crédito	Entorno	Mostrador de ayuda
Satisfacción del cliente	Comunicaciones externas	Recuperación ante desastres
Prestaciones de empleados	Finanzas	Administración del desperdicio
Compensación de empleados	Administración de seguridad	Garantía

Los administradores de estos procesos deben asegurarse de que están agregando tanto valor para el cliente como sea posible. Deben entender que muchos procesos cruzan las líneas organizacionales, sin importar si la empresa está organizada funcionalmente, por producto, regional o líneas de proceso.

Decisiones estratégicas de procesos

Un proceso incluye utilizar los recursos de una organización para proveer algo de valor. No se puede proporcionar un servicio ni fabricar un producto sin un proceso, el cual no existiría sin al menos un servicio o producto. Una pregunta recurrente en la administración de procesos



▲ **FIGURA 3.1**
Decisiones clave para procesos efectivos

es decidir *cómo* proveer el servicio o hacer el producto. Existen muchas opciones diferentes al seleccionar recursos humanos, equipo, servicios subcontratados, materiales, flujos del trabajo y métodos que transforman entradas en salidas. Otra opción es qué procesos deben hacerse dentro y cuáles deben subcontratarse; esto es, fuera de la empresa y comprarse como materiales y servicios. Dicha decisión ayuda a definir la cadena de suministro y se cubre con detalle en los siguientes capítulos. El Suplemento A, "Toma de decisiones", también introduce el punto de equilibrio entre hacer o comprar.

Las decisiones de procesos afectan directamente al proceso e indirectamente a los servicios y productos que proporciona. Ya sea que se trate de procesos para oficinas, proveedores de servicios o fabricantes, los administradores de operaciones deben considerar cuatro decisiones de procesos comunes. La figura 3.1 muestra que todos son pasos importantes hacia un diseño de proceso efectivo. Estas cuatro decisiones se comprenden mejor en el nivel de proceso o subproceso, y no en el nivel de la empresa.

- **La estructura de procesos** determina el tipo de proceso respecto a los tipos de recursos necesarios, cómo se dividen los recursos entre ellos y sus características importantes. Una **disposición física**, que es el arreglo físico de las operaciones creadas por los diferentes procesos, coloca estas decisiones en una forma tangible.
- La **participación del cliente** refleja las maneras en las que los clientes se convierten en parte del proceso y el grado en que participan.
- La **flexibilidad de recursos** es la facilidad con que los empleados y el equipo pueden manejar una gran variedad de productos, niveles de salida, responsabilidades y funciones.
- La **intensidad de capital** es la mezcla de equipo y habilidades humanas en un proceso. Cuanto más alto es el costo relativo del equipo, mayor es la intensidad de capital.

estructura de procesos
Tipos de procesos en cuanto a los tipos de recursos necesarios, cómo se dividen los recursos entre ellos y sus características clave.

disposición física
Arreglo físico de las operaciones creado por los diferentes procesos.

participación del cliente
Maneras en las que los clientes se convierten en parte del proceso y el grado en que participan.

flexibilidad de recursos
Facilidad con que los empleados y el equipo pueden manejar una amplia variedad de productos, niveles de salida, responsabilidades y funciones.

intensidad de capital
Mezcla de equipo y habilidades humanas en un proceso.

Los conceptos que se desarrollan alrededor de estas cuatro decisiones establecen un marco de trabajo dentro del cual podemos abordar el diseño de proceso adecuado en cada situación. No hay un elemento de "cómo" en este capítulo. Eso viene en los subsecuentes, los cuales muestran, de hecho, cómo diseñar un proceso o modificar los existentes. En su lugar, establecemos patrones de elección que crean un buen ajuste entre las cuatro decisiones. Por ejemplo, si camina por una planta de manufactura donde los materiales tienen un flujo uniforme de una estación a la siguiente (que más adelante definiremos como proceso en *línea*), estaría tentado a concluir que todos los procesos deberían ser en línea. Parecen tan eficientes y organizados. Sin embargo, si los volúmenes son bajos y los productos fabricados se personalizan, convertirlo en un proceso en línea sería un gran error. Cuando los volúmenes son bajos y los productos personalizados, los recursos deben ser más flexibles para manejar la variedad de productos. El resultado es una apariencia más desorganizada con los trabajos cruzando en muchas direcciones, dependiendo del producto que se fabrica. A pesar de las apariencias, este proceso es la mejor opción.

Estructura de procesos en los servicios

Una de las primeras decisiones que toma un administrador al diseñar un proceso que funcione bien es elegir un tipo de proceso que mejor logre las prioridades competitivas de este. Las estrategias para diseñar procesos pueden ser muy diferentes, según si se proporciona un servicio o se fabrica un producto. Comenzamos con los procesos de servicio, dada su gran implicación para los recursos de fuerza de trabajo en los países industrializados.

Naturaleza de los procesos de servicio: contacto con el cliente

Una estrategia de proceso que tiene clientes que entran y salen de un restaurante de comida rápida no sería la estrategia de proceso correcta para un restaurante de cinco estrellas, donde los clientes buscan una experiencia relajada para cenar. Para comprender mejor, debemos comenzar a nivel del proceso y reconocer las variables contextuales clave asociadas con él. Una buena estrategia de proceso para un servicio depende ante todo del tipo y cantidad de contacto con el cliente. El **contacto con el cliente** es el grado en el que el cliente está presente, participa activamente y recibe atención personal durante el proceso de servicio. La interacción cara a cara, algunas veces llamada *momento de la verdad* o *encuentro de servicio*, reúne al cliente con el proveedor del servicio. En ese momento, se forman las actividades del cliente acerca de la calidad del servicio proporcionado. En la tabla 3.3, se muestran varias dimensiones de contacto con el cliente. Existen muchos niveles en cada una de las cinco dimensiones. El concepto de proceso anidado se aplica al contacto con el cliente, porque algunas partes de un proceso pueden tener un bajo contacto y otras partes del proceso, un contacto alto.

TABLA 3.3 | DIMENSIONES DE CONTACTO CON EL CLIENTE EN PROCESOS DE SERVICIO

Dimensión	Contacto alto	Contacto bajo
Presencia física	Presente	Ausente
Qué se procesa	Personas	Posesiones o información
Intensidad de contacto	Activo, visible	Pasivo, fuera de la vista
Atención personal	Personal	Impersonal
Método de entrega	Cara a cara	Correo postal o electrónico

Matriz cliente-contacto

La matriz cliente-contacto, mostrada en la figura 3.2, reúne tres elementos: **1.** grado de contacto con el cliente, **2.** personalización y **3.** características del proceso. La matriz es el punto de partida para evaluar y mejorar un proceso.

Contacto con el cliente y personalización La dimensión horizontal de la matriz representa el servicio proporcionado en términos del contacto con el cliente y las prioridades competitivas. Una prioridad competitiva clave es cuánta personalización es necesaria. Las posiciones del lado izquierdo de la matriz representan un alto contacto con el cliente y alta personalización en el servicio. Es más probable que un cliente esté presente y activo. Es más probable que el proceso esté visible para el cliente que recibe más atención personal. El lado derecho de la matriz representa un bajo contacto con el cliente, participación pasiva, menos atención personalizada y un proceso fuera de la vista del cliente.

contacto con el cliente
Grado en el que el cliente está presente, participa activamente y recibe atención personal durante el proceso de servicio.

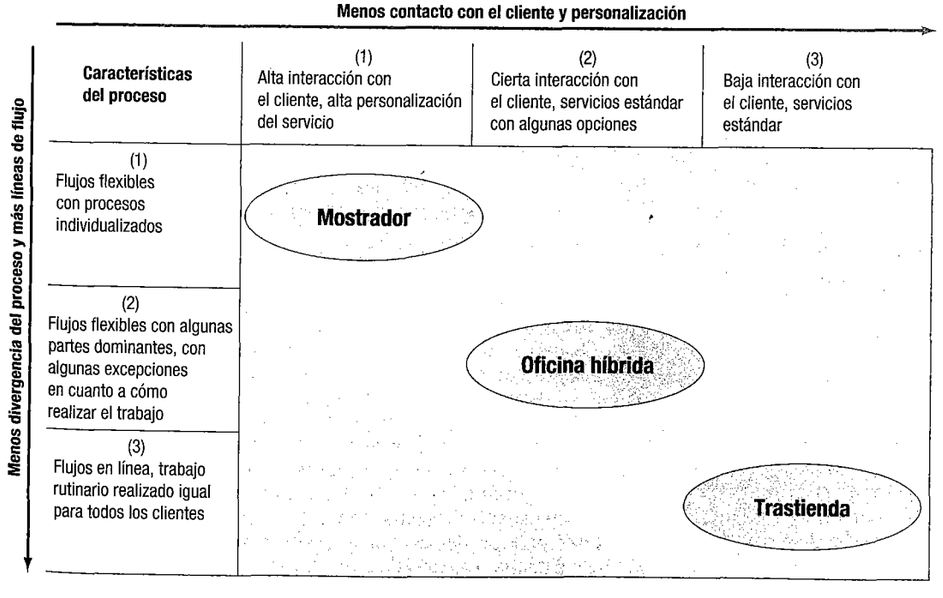
Divergencia y flujo del proceso La dimensión vertical de la matriz cliente-contacto maneja dos características del proceso en sí: **1.** divergencia del proceso y **2.** flujo. Cada proceso puede analizarse respecto a estas dos dimensiones.

La **divergencia del proceso** es el grado en el que el proceso está personalizado y tiene una libertad considerable en cuanto a cómo se realizan sus tareas. Si el proceso cambia con cada cliente, virtualmente cada realización del servicio es única. Ejemplos de procesos de servicio con alta divergencia donde muchos pasos cambian con cada cliente se encuentran en la consultoría, la ley y la arquitectura. Por otra parte, un servicio con baja divergencia es repetitivo y estandarizado. El trabajo se realiza exactamente igual con todos los clientes y tiende a ser menos complejo. Ciertos servicios de hotelería y telefónicos son altamente estandarizados para asegurar la uniformidad.

divergencia del proceso
Grado en el que el proceso está altamente personalizado y con considerable flexibilidad en cuanto a cómo se realizan las tareas.

Algo con una relación cercana a la divergencia es cómo el cliente, objeto o información que se procesa, fluye a través de la instalación del servicio. El trabajo avanza por la secuencia de pasos del proceso, que puede ir de altamente diversa a lineal. Cuando la divergencia es considerable, el flujo del trabajo tiende a ser más flexible. Un **flujo flexible** significa que los clientes, materiales o información se mueven de varias maneras. Con la trayectoria de un cliente o trabajo que a menudo

flujo flexible
Los clientes, materiales o información se mueven varias direcciones, con la trayectoria de un cliente o trabajo cruzando con frecuencia la trayectoria del que sigue.



◀ **FIGURA 3.2**
Matriz cliente-contacto para procesos de servicio

Myrleen Ferguson Cate/PhotoEdit

Un consultor financiero discute las opciones con una pareja joven en su casa. Este proceso tiene un alto contacto con el cliente, porque está presente, toma parte activa en crear el servicio, recibe atención personal y tiene contacto cara a cara.

cruza la trayectoria que toman quienes siguen. Cada uno puede seguir una ruta preplaneada con cuidado, aunque la primera impresión es de desorganización o flujos revueltos. Esa apariencia va acompañada naturalmente de alta divergencia de procesos. Un **flujo en línea** significa que los clientes, materiales o información se mueven de manera lineal de una operación a la siguiente, de acuerdo con una secuencia fija. Cuando esta es baja y el proceso se estandariza, los flujos lineales son la consecuencia natural.

flujo en línea

Los clientes, materiales o información se mueven de manera lineal de una operación a la siguiente, de acuerdo con una secuencia fija.

mostrador

Proceso con alto contacto con el cliente donde el proveedor de servicio interactúa directamente con el cliente interno o externo.

oficina híbrida

Proceso con niveles moderados de contacto con el cliente y servicio estándar con algunas opciones disponibles.

trastienda

Proceso con bajo contacto con el cliente y poca personalización del servicio.

Estructura del proceso de servicio

En la figura 3.2 se muestran varias posiciones deseables en la matriz que conectan de manera efectiva el servicio producido con el proceso. El administrador tiene tres estructuras de proceso, que forman un continuo, para elegir: **1.** el mostrador, **2.** la oficina híbrida y **3.** la trastienda. Es poco probable que un proceso se desempeñe bien si está muy alejado de estas posiciones en la diagonal, y ocupa más bien una posición extrema representada por los triángulos de las esquinas en la matriz (como se muestra en la figura 3.2). Esas posiciones representan una gran desconexión entre el proveedor del servicio y las características del proceso.

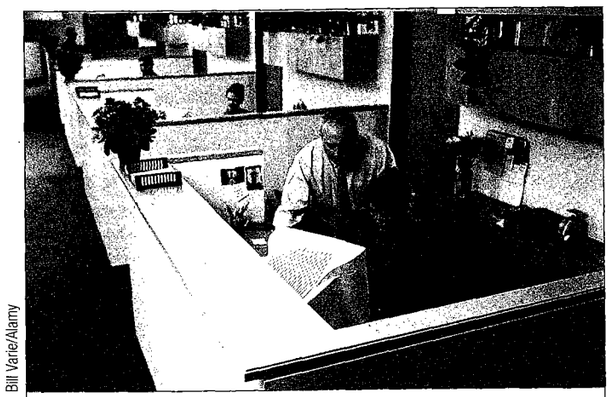
Mostrador Un proceso de **mostrador** tiene alto contacto con el cliente, el proveedor del servicio interactúa directamente con el cliente interno o externo. Debido a la personalización del servicio y a la variedad de opciones, muchos pasos del proceso tienen una divergencia considerable. Los flujos de trabajo son flexibles y varían de un cliente a otro. El proceso de alto contacto con el cliente tiende a adaptarse y hacerlo a la medida de cada cliente.

Oficina híbrida Una **oficina híbrida** tiende a ser la media de las cinco dimensiones (como se muestra en la tabla 3.3), o quizá alta en algunas medidas de contacto y baja en otras. Un proceso de **oficina híbrida** tiene niveles moderados de contacto con el cliente y servicios estándar, con algunas opciones disponibles entre las que elige el cliente. El flujo de trabajo avanza de una estación de trabajo a la siguiente, con algunas trayectorias evidentemente dominantes.

Trastienda Un proceso de **trastienda** tiene bajo contacto con el cliente y poca personalización del servicio. El trabajo es estándar y rutinario, con flujos lineales entre un proveedor de servicio y el siguiente hasta que el servicio termina. Preparar las cuentas y saldos mensuales de los clientes en la industria financiera es un excelente ejemplo. Tiene poco contacto con el cliente, baja divergencia y un flujo lineal.

Estructura de procesos en la manufactura

Muchos de los procesos en una empresa manufacturera son servicios a clientes internos o externos y, por tanto, el análisis anterior de los servicios se aplica a ellos. De manera similar, los procesos de manufactura se pueden encontrar en las empresas de servicio. Todo se aclara al observar el trabajo a nivel de proceso, en lugar del nivel organizacional. Aquí nos centraremos en los procesos de manufactura. Debido a las diferencias entre los procesos de manufactura y de servicio, necesitamos un punto de vista diferente de la estructura de procesos.



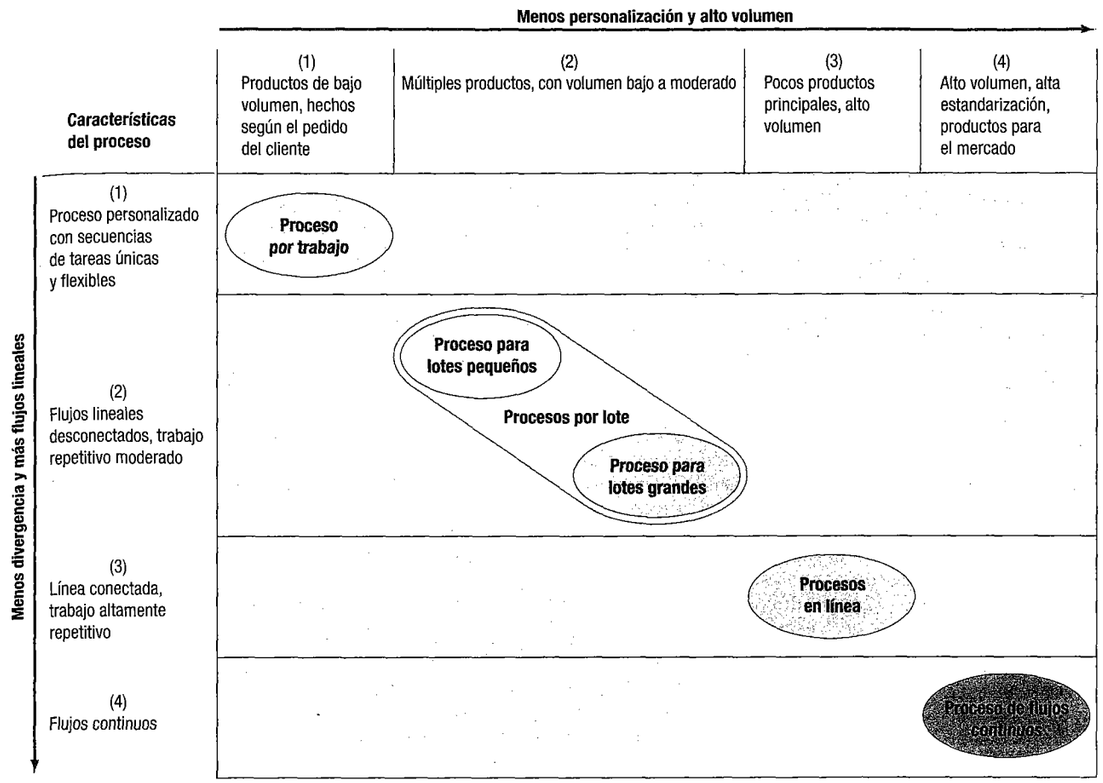
Bill Varie/Alamy

Un empleado discute con su supervisor. Cada empleado en esta serie de estaciones de trabajo está en una trastienda porque tienen bajo contacto con el cliente y poca personalización del servicio.

Matriz producto-proceso

La matriz producto-proceso, mostrada en la figura 3.3, reúne tres elementos: **1.** volumen, **2.** personalización del producto y **3.** características del proceso. Sincroniza el producto que se va a fabricar con el propio proceso de manufactura.

Una buena estrategia para los procesos de manufactura depende ante todo del volumen. El contacto con el cliente, una característica fundamental en la matriz de cliente-contacto para servicios, suele no ser una consideración para los procesos de manufactura (aunque *sí es* un factor para los muchos procesos de servicio dentro de la empresa de manufactura). En muchos procesos de manufactura, una alta personalización del producto significa menor volumen para muchos pasos en el proceso. La dimensión vertical de la matriz proceso-producto trata las mismas dos características en la matriz cliente-contacto: divergencia de proceso y flujo. Cada proceso de manufactura debe analizarse en estas dos dimensiones, como se hizo para los procesos de servicio.



▲ **FIGURA 3.3**
Matriz producto-proceso para procesos de manufactura

Estructuración del proceso de manufactura

La figura 3.3 muestra varias alternativas deseables (con frecuencia llamadas *opciones en proceso*) en la matriz producto-proceso que efectivamente conectan al producto fabricado con el proceso. La **opción de proceso** es una manera de estructurar el proceso, organizando los recursos alrededor del proceso, o bien, en torno de los productos. Organizar alrededor del proceso significa, por ejemplo, que todas las fresadoras se agrupan y procesan alrededor de todos los productos o partes que requieren de esa herramienta. Organizar alrededor del producto significa reunir todos los recursos humanos y equipo necesarios para un producto específico y dedicarlos a fabricar el mismo. El administrador tiene cuatro opciones de proceso, que forman un continuo, para elegir: **1,** proceso de trabajo; **2.** proceso por lote; **3.** proceso en línea, y **4.** proceso de flujo continuo. Igual que con la matriz cliente-contacto, es poco probable que un proceso de manufactura pueda tener el mejor desempeño si su posición está lejos de la diagonal. El mensaje fundamental que muestra la figura 3.3, es que la mejor elección para un proceso de manufactura depende del volumen y el grado de personalización requeridos. La opción de proceso puede aplicarse a todo en un proceso de manufactura o solo un subproceso anidado en él.

opción de proceso

Una manera de estructurar el proceso es organizar los recursos alrededor del proceso u organizarlos alrededor de los productos.

Proceso por trabajo Un **proceso por trabajo** crea la flexibilidad necesaria para producir una amplia variedad de productos en cantidades significativas y con divergencia considerable en los pasos realizados. La personalización es alta y el volumen para cualquier producto es bajo. La fuerza de trabajo y el equipo son flexibles para manejar la gran divergencia de tareas. Las compañías que eligen procesos por trabajo con frecuencia, licitan para obtener contratos. Lo normal es que los productos sean fabricados por pedido y no son producidos con antelación. Cada orden nueva se maneja como una unidad, como un trabajo. Los ejemplos incluyen maquinado de moldes de metal para pedidos personalizados o de gabinetes personalizados.

Con un proceso por trabajo, todo el equipo y trabajadores capaces de labores específicas se agrupan. Debido a que la personalización es alta y la mayor parte de los trabajos tiene diferente secuencia de pasos, esta opción de proceso crea flujos flexibles en todas las operaciones y no un flujo en línea.

proceso por trabajo

Un proceso con la flexibilidad necesaria para producir una amplia variedad de productos en cantidades significativas, con considerable divergencia en los pasos realizados.

AP Photo/David Zalubowski

Un lote de frituras de manzana se transporta desde las líneas de pastas en la pastelería King Soopers para empacarlas y transportarlas. La línea de pastas es un proceso por lotes y se elaborará un tipo diferente de estas.

Proceso por lotes El proceso por lotes es por mucho la elección más común encontrada en la práctica, que lleva a términos como *lote pequeño* y *lote grande* para distinguir un proceso de otro. Un **proceso por lotes** difiere del proceso por trabajo en cuanto a volumen, variedad y cantidad. La diferencia principal es que los volúmenes son más altos debido a que los mismos productos o partes llegan al proceso repetidamente. Algunos de los componentes que van en el producto final quizá se procesen por adelantado. Los lotes de producción se manejan en cantidades (o *lotes*) más grandes que en los procesos por trabajo. Un lote de un producto (o parte de un componente de este o quizá de otros productos) se procesa y luego la producción cambia al siguiente producto. Con el tiempo, el primer producto se fabrica de nuevo. Un proceso por lotes tiene volúmenes moderados o promedio, pero la divergencia de procesos todavía es grande para garantizar que se dediquen procesos separados para cada producto. El flujo del proceso es flexible, pero surgen trayectorias más dominantes que en el proceso por trabajo, y algunos segmentos del proceso tienen flujos en línea. Los ejemplos de un proceso por lotes son fabricar componentes estándar que alimentan la línea de ensamble o algunos procesos que fabrican bienes de capital.

proceso por lotes

Proceso que difiere del proceso por trabajo en cuanto al volumen, calidad y cantidad.

proceso en línea

Proceso que está entre los procesos por lotes y continuo; los volúmenes son altos y los productos son estándar, esto permite que los recursos se organicen alrededor de los productos específicos.

proceso de flujo continuo

Punto extremo de alto volumen de producción estandarizada y flujos en línea rígidos, con producción que no inicia ni se detiene durante largos periodos.

Proceso en línea Un **proceso en línea** está entre los procesos por lotes y continuos: los volúmenes son altos y los productos están estandarizados, lo que permite organizar los recursos alrededor de productos específicos. La divergencia es mínima en el proceso o flujo en línea y se tiene poco inventario entre los pasos del proceso. Cada paso realiza el mismo proceso una y otra vez, con poca variabilidad en los productos manufacturados. Los equipos de producción y manejo de materiales son especializados. Algunos ejemplos de los productos creados por un proceso en línea son: el ensamble de componentes, automóviles, electrodomésticos y juguetes.

Los productos estándar se fabrican de antemano por su necesidad y se mantienen en inventario para estar listos cuando un cliente solicite una orden. La variedad de productos es posible mediante un control cuidadoso de la adición de opciones estándar al producto principal.

Procesos de flujo continuo Un **proceso de flujo continuo** es el extremo de la producción estandarizada de alto volumen, con flujos en línea rígidos. La divergencia de procesos es despreciable. Su nombre se debe a la forma en que los materiales se mueven a través del proceso. Es usual que un material primario (como un líquido, un gas o un polvo) se mueva sin parar por el proceso. Un proceso de flujo continuo difiere del proceso en línea en un aspecto importante: los materiales (sean no diferenciados o discretos) fluyen por el proceso sin detenerse hasta que se termine la producción del lote. El tiempo puede incluir varios turnos o, incluso, varios meses. Los ejemplos de procesos continuos incluyen refinación de petróleo, procesos químicos y de acero, así como elaboración de refrescos y comida (como la gran planta de pasta de Borden).

Estrategias de producción e inventarios

Las estrategias para los procesos de manufactura difieren de las de servicios, no solo por el bajo contacto y participación del cliente, sino también por la habilidad de usar inventarios.[1] Las estrategias de fabricar por pedido, ensamblar por pedido y fabricar para almacenar son tres enfoques de inventario que deben coordinarse con la elección del proceso.

estrategia de producir por pedido (*make-to-order*)

Estrategia usada por los fabricantes que hacen productos según las especificaciones del cliente en volúmenes bajos.

estrategia de ensamblar por pedido (*assemble-to-order*)

Estrategia que se usa para producir una amplia variedad de productos con relativamente pocos subensambles y componentes después de recibir los pedidos de los clientes.

aplazamiento (*postponement*)

Estrategia de posponer las actividades finales del suministro del producto hasta que se reciben los pedidos.

Estrategia de producir por pedido (*make-to-order*) Los fabricantes que hacen productos según las especificaciones del cliente en bajo volumen tienden a usar la **estrategia de producir por pedido**, aunada a los procesos por trabajo o lotes pequeños. Es un proceso más complejo que ensamblar un producto final a partir de componentes estándar. Esta estrategia proporciona un alto grado de personalización y suele usar procesos por trabajo o por lotes pequeños. Los procesos tienen una divergencia alta. El equipo médico especializado, los moldes y las casas de lujo son adecuados para la estrategia de producir por pedido.

Estrategia de ensamblar por pedido (*assemble-to-order*) La **estrategia de ensamblar por pedido** es un enfoque para producir una gran variedad de productos a partir de relativamente pocos subensambles y componentes después de recibir los pedidos de los clientes. Las prioridades competitivas usuales son la variedad y los tiempos de entrega cortos. La estrategia de ensamblar por pedido, con frecuencia, involucra procesos en línea para ensamble y un proceso por lotes para la fabricación. Como está dedicado a la fabricación de componentes y subensambles estándar en volúmenes grandes, el proceso de fabricación se enfoca en crear las cantidades apropiadas de inventarios de componentes para los procesos de ensamble. Una vez que se recibe una orden específica de un cliente, los procesos de ensamble crean el producto a partir de componentes y subensambles estándar producidos por el proceso de fabricación.

Almacenar productos terminados sería prohibitivo en el sentido económico porque las numerosas opciones posibles hacen que los pronósticos sean poco precisos. Entonces se aplica el

[1] Las empresas de servicio también mantienen inventarios, pero solo de materiales comprados. Las empresas de manufactura tienen la flexibilidad de mantener inventarios de subensambles o productos terminados.

principio de **aplazamiento (*postponement*)**, mediante el cual las actividades finales en la provisión de un producto se retrasan hasta que las órdenes se reciben. La estrategia de ensamblar por pedido también está ligada a la **personalización en masa (mass customization)**, donde procesos muy divergentes generan una gran variedad de productos personalizados a costo razonablemente bajos. Tanto el aplazamiento como la personalización en masa se cubren con más detalle en el capítulo 10, "Diseño de la cadena de suministro".

James Hardy/Altopress/Newscom

Una empresa de manufactura china que utiliza la estrategia de hacer para almacenar tiene un inventario considerable estibado en tarimas con filas de estanterías en el fondo.

Estrategia de hacer para almacenar (*make-to-stock*) Las empresas de manufactura que mantienen artículos en inventario para entrega inmediata, minimizando con ellos los tiempos de entrega para los clientes, utilizan la **estrategia de hacer para almacenar**. Esta estrategia es factible para productos estandarizados con altos volúmenes y pronósticos con exactitud razonable. Es la estrategia de inventarios de la elección de procesos en línea o de flujo continuo. Los ejemplos de productos fabricados con esta estrategia incluyen herramientas para jardín, componentes electrónicos, refrescos y químicos.

Combinar un proceso en línea con la estrategia de hacer para almacenar algunas veces se llama **producción en masa**. Es lo que la prensa popular suele visualizar como el proceso de manufactura clásico, porque el entorno es estable y predecible, con trabajadores que repiten tareas definidas con precisión y baja divergencia.

personalización en masa (*mass customization*)

Estrategia que utiliza procesos altamente divergentes para generar una gran variedad de productos personalizados a precios razonablemente bajos.

estrategia de hacer para almacenar (*make-to-stock*)

Estrategia que incluye mantener artículos en inventario para entrega inmediata, lo cual minimiza los tiempos de entrega a los clientes.

producción en masa

Término que algunas veces se usa en la prensa popular para un proceso en línea que utiliza la estrategia de hacer para almacenar.

Disposición física (*layout*)

Seleccionar las estructuras del proceso para los diferentes procesos realizados en una instalación es una decisión estratégica, pero debe ir seguida de una decisión más táctica: crear una disposición de planta. Una *disposición* es el arreglo físico de las operaciones (o departamentos) que surgen por los diferentes procesos y los coloca de una manera tangible. Para fines de la organización, los procesos tienden a agruparse en operaciones o departamentos. Una *operación* es un grupo de humanos y bienes de capital que realizan todo o parte de uno o más procesos. Por ejemplo, una operación puede ser varios representantes de servicio al cliente en un área de recepción para ellos; un grupo de máquinas y trabajadores que producen teléfonos celulares, o un departamento de marketing. Sin importar cómo se agrupan los procesos organizacionalmente muchos de ellos cruzan las fronteras de los departamentos. Los flujos a través de estos son informáticos, de servicios o de productos. Las estructuras de procesos que crean más flujos entre departamentos, como en los procesos por trabajo, son los retos más grandes.

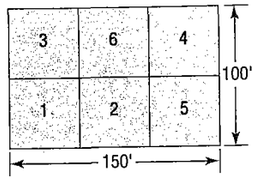
Se mostrará un enfoque para el diseño de la disposición física que posiciona esos departamentos que tienen fuertes interacciones cerca unos de otros. Involucra tres pasos básicos, se trate del diseño de una nueva disposición o la revisión de una existente: **1.** recolectar información, **2.** desarrollar un plano de bloques y **3.** diseñar la disposición detallada. Ilustramos estos tres pasos con la Oficina de Administración de Presupuestos (OAP), que es una división importante en un gobierno estatal.

Reunir información

La OAP está formada por 120 empleados asignados a seis departamentos. La carga de trabajo ha aumentado al grado de tener que contratar a 30 empleados nuevos, pero hay que darles cabida en el espacio asignado. La meta es mejorar la comunicación entre las personas que deben interactuar de manera efectiva, creando un entorno de trabajo adecuado.

Se requiere tres tipos de información para comenzar el diseño de la disposición revisada para la OAP: **1.** requerimientos de espacio del centro, **2.** espacio disponible y **3.** factores de cercanía. La OAP ha agrupado sus procesos en seis departamentos diferentes: **1.** administración, **2.** servicio social, **3.** instituciones, **4.** contabilidad, **5.** educación y **6.** auditoría interna. Los requerimientos exactos de espacio de cada departamento en pies cuadrados son los siguientes:

Departamento	Área necesaria (pies^2)
1. Administración	3,500
2. Servicios sociales	2,600
3. Instituciones	2,400
4. Contabilidad	1,600
5. Educación	1,500
6. Auditoría interna	3,400
	Total 15,000



▲ **FIGURA 3.4**
El plano de bloques actual para la Oficina de Administración de Presupuesto

plano de bloques
Plano que asocia espacio e indica colocación de cada operación.

matriz de cercanía
Tabla que da una medida de la importancia relativa de que cada par de operaciones se localicen cerca.

La administración debe unir a sus requerimientos de espacio, la capacidad y sus planes de contratación; calcular el equipo específico y espacio necesarios para cada centro y dejar espacio de circulación, como pasillos. En la OAP, debemos encontrar una manera de incluir a los 150 empleados en su área asignada. Consultar con los administradores y empleados puede ser útil para evitar la resistencia al cambio y hacer la transición más sencilla.

Un **plano de bloques** asigna espacio e indica la colocación de cada operación. Para describir una nueva disposición, el plano solo debe proporcionar las dimensiones de la instalación y la asignación de espacios. Cuando se modifica la disposición de una instalación existente, también se necesita el plano de bloques actual. El espacio disponible de la OAP es 150 por 100 pies, o 15,000 pies cuadrados. El diseñador puede comenzar el diseño dividiendo el espacio total en seis bloques iguales (2,500 pies cuadrados cada uno). La aproximación de espacios iguales se muestra en la figura 3.4, es suficiente hasta la etapa de la disposición detallada, cuando los departamentos más grandes (como la administración) tengan más espacio que los departamentos más pequeños.

El diseñador de la disposición tiene la obligación de saber qué operaciones deben estar cerca de otras. La tabla que sigue muestra la **matriz de cercanía** de la OAP, que da una medida de la importancia relativa de que cada par de operaciones se localicen cerca. La métrica usada depende del tipo de proceso involucrado y la composición organizacional. Puede ser un juicio cualitativo en una escala de 0 a 10 que el administrador utilice para tomar en cuenta los múltiples criterios de desempeño, como en el caso de la OAP. Solo se usa la parte del lado derecho de la matriz. Los factores de cercanía son indicadores de la necesidad de proximidad basada en un análisis de flujos de información y la necesidad de reuniones en persona. Dan idea de cuáles departamentos deben localizarse cerca unos de otros. Por ejemplo, la interacción más importante ocurre entre la administración de los departamentos de auditoría interna de la OAP, con una puntuación de 10. Este factor de cercanía está dado en el primer renglón y la última columna. Así, el diseñador debe colocar los departamentos 1 y 6 juntos, que no es el arreglo en la disposición actual. Las entradas tanto en columnas como en renglones dan cinco calificaciones de factores para cada departamento.

FACTORES DE CERCANÍA						
Departamento	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
1. Administración	—	3	6	5	6	10
2. Servicios sociales		—	8	1	1	
3. Instituciones			—	3	9	
4. Contabilidad				—	2	
5. Educación					—	1
6. Auditoría interna						—

En una planta de manufactura, el factor de cercanía puede ser el número de viajes (o alguna otra medida del movimiento de materiales) entre cada par de operaciones por día. Esta información se obtiene realizando un muestreo estadístico, con encuestas a supervisores y quienes manejan los materiales o usando las rutas y ordenando las frecuencias para artículos típicos fabricados en la planta.

Por último, la información reunida para la OAP incluye criterios de desempeño que no dependen de la localización relativa de pares de departamentos, sino de la localización *absoluta* de un solo departamento. La OAP tiene dos criterios de este tipo:

1. Educación (departamento 5) debe permanecer donde está porque se encuentra cerca de la biblioteca de la empresa.
2. Administración (departamento 1) debe permanecer donde está porque ese lugar tiene la sala de juntas más grande, misma que la administración utiliza con frecuencia. Relocalizar la sala de juntas sería costoso.

Desarrollo de un plano de bloques

Reunida la información necesaria, el siguiente paso es desarrollar el plano de bloques que mejor satisfaga los criterios de desempeño y los requerimientos de área. La manera elemental de hacerlo es por prueba y error. Como el éxito depende de la habilidad del diseñador para detectar patrones en los datos, este enfoque no garantiza la selección de la mejor solución, ni siquiera de una cercana a la mejor. Sin embargo, cuando se complementa con el uso de una computadora para evaluar soluciones, la investigación muestra que ese enfoque se compara de manera bastante favorable con técnicas de cómputo más elaboradas.

método de la distancia ponderada
Modelo matemático que se usa para evaluar las distribuciones (o la localización de la instalación) con base en los factores de cercanía.

Aplicación del método de la distancia ponderada

Cuando las localizaciones *relativas* son la preocupación primordial, como cuando se requieren un flujo efectivo de información, comunicación, manejo de materiales y selección de artículos en inventario, se puede aplicar el método de la distancia ponderada para comparar los diferentes planos de bloques. El **método de la distancia ponderada** es un modelo matemático utilizado para evaluar los factores de

cercanía en las disposiciones físicas. Un enfoque similar, algunas veces llamado *método distancia con pesos*, se puede usar para evaluar la localización de instalaciones. El objetivo es seleccionar una disposición (o localización de instalación) que minimiza las distancias ponderadas totales. La distancia entre dos puntos se expresa mediante la asignación de puntos a las coordenadas de una malla sobre el diagrama de bloques o plano. Un enfoque alternativo es usar tiempo en lugar de distancia.

Se puede usar una medida de distancia euclidiana o rectilínea para obtener un cálculo general, que es todo lo que se necesita para el método de la distancia ponderada. La **distancia euclidiana** es la distancia en línea recta, o la trayectoria más corta posible, entre dos puntos. Para calcular esta distancia, creamos una gráfica. La longitud entre dos puntos, digamos los puntos A y B, es:

distancia euclidiana
Distancia en línea recta o la trayectoria más corta posible, entre dos puntos.

$$d_{AB} = \sqrt{(x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2}$$

Donde:

d_{AB} = distancia entre los puntos A y B
x_A = la coordenada x del punto A
y_A = coordenada y del punto A
x_B = coordenada x del punto B
y_B = coordenada y del punto B

La **distancia rectilínea** mide la distancia entre dos puntos con una serie de giros de 90°a lo largo de los bloques. La distancia recorrida en la dirección x es el valor absoluto de la diferencia entre las coordenadas x. Agregando el resultado al valor absoluto de la diferencia entre las coordenadas y se tiene

distancia rectilínea
Distancia entre dos puntos con una serie de giros de 90° siguiendo las cuadras de una ciudad.

$$d_{AB} = |x_A - x_B| + |y_A - y_B|$$

Como ayuda en el cálculo de las distancias con cualquier medida, vea el tutor 3.1 en OM Explorer.

El diseñador de la disposición física busca minimizar la puntuación de la distancia ponderada (*wd*) colocando juntos a los centros que tienen calificaciones de cercanía altas. Para calcular la puntuación *wd* de una disposición, utilizamos cualquiera de las medidas de distancia y simplemente multiplicamos la puntuación de proximidad por las distancias entre los centros. La suma de esos productos se convierte en la puntuación *wd* final de la disposición, cuanto más baja sea, mejor. La localización del centro se define por su coordenada x y su coordenada y.

MyOMLab
El tutor 3.1 en MyOMLab proporciona un ejemplo del cálculo de ambas medidas de distancia euclidiana y rectilínea.

EJEMPLO 3.1 Cálculo de la puntuación de la distancia ponderada

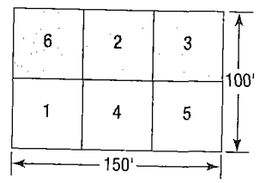
El plano de bloques en la figura 3.5 se desarrolló mediante prueba y error. Un buen inicio fue fijar los departamentos 1 y 5 en sus lugares actuales. Después, se encontraron los pares de departamentos con los factores de cercanía más grandes. El resto de la distribución cae en su lugar fácilmente.

¿Qué tanto mejor, en términos de la puntuación *wd*, es el plano de bloques mostrado en la figura 3.5, en comparación con el plano de la figura 3.4? Utilice la medida de distancia rectilínea.

SOLUCIÓN

La tabla que sigue enumera cada par de departamentos que tienen un factor de cercanía distinto de cero en la matriz de cercanía. En la tercera columna, calcule las distancias rectilíneas entre los departamentos de la disposición actual. Por ejemplo, los departamentos 3 y 5 en el plano actual están en la esquina superior izquierda y en la inferior derecha del edificio, respectivamente. La distancia entre los centros de estos bloques es tres unidades (dos horizontales y una vertical). En la cuarta columna, multiplicamos los pesos (factores de cercanía) por las distancias, y luego sumamos los resultados para obtener un *wd* total de 112 según el plano actual. Cálculos similares para el plano propuesto dan una puntuación *wd* de solo 82. Por ejemplo, entre los departamentos 3 y 5 hay solo una unidad de distancia (una vertical y cero horizontal).

		PLANO ACTUAL		PLANO PROPUESTO	
Par de departamentos	**Factor de cercanía (*w*)**	**Distancia (*d*)**	**Puntuación distancia ponderada (*wd*)**	**Distancia (*d*)**	**Puntuación distancia ponderada (*wd*)**
1, 2	3	1	3	2	6
1, 3	6	1	6	3	18
1, 4	5	3	15	1	5
1, 5	6	2	12	2	12
1, 6	10	2	20	1	10
2, 3	8	2	16	1	8
2, 4	1	2	2	1	1



▲ **FIGURA 3.5**
Plano de bloques propuesto

MyOMLab
El modelo activo 3.1 en MyOMLab permite evaluar el impacto de intercambiar las posiciones de los departamentos de la OAP.

Plano actual

3	6	4
1	2	5

Plano propuesto

6	2	3
1	4	5

		PLANO ACTUAL		PLANO PROPUESTO	
Par de departamentos	**Factor de cercanía (*w*)**	**Distancia (*d*)**	**Puntuación distancia ponderada (*wd*)**	**Distancia (*d*)**	**Puntuación distancia ponderada (*wd*)**
2, 5	1	1	1	2	2
3, 4	3	2	6	2	6
3, 5	9	3	27	1	9
4, 5	2	1	2	1	2
5, 6	1	2	2	3	3
			Total 112		Total 82

Para ser precisos, pudimos calcular las dos calificaciones totales *wd* por 50 porque cada unidad de distancia representa 50 pies Sin embargo, la diferencia relativa entre los dos totales permanece sin cambio.

PUNTO DE DECISIÓN

La puntuación *wd* para la disposición propuesta baja una cantidad grande de 112 a 82, pero la administración no está segura de que la mejora compense el costo de relocalizar cuatro de los seis departamentos (es decir, todos los departamentos menos el 1 y el 5).

◉ Distancias rectilíneas ○ Distancias euclidianas

Par de departamentos	Factor de cercanía	Distancia	Puntuación
1, 6	10	1	10
3, 5	9	1	9
2, 3	8	1	8
1, 3	6	1	6
1, 5	6	2	12
1, 4	5	3	15
1, 2	3	2	6
3, 4	3	2	6
4, 5	2	1	2
2, 4	1	1	1
2, 5	1	2	2
5, 6	1	3	3
	Total		80

6	2	4
1	3	5

▲ **FIGURA 3.6**
Segundo plano de bloques propuesto (*analizado con Layour Solver*)

Aunque la puntuación *wd* para la disposición propuesta en el ejemplo 3.1 representa casi 27% de mejora, tal vez el diseñador pueda optimizar esta solución. Más aún, el administrador debe determinar si la disposición revisada vale el costo de relocalizar cuatro de los seis departamentos. Si los costos de relocalización son demasiado altos, es posible encontrar una propuesta menos costosa.

El OM Explorer y POM para Windows pueden ayudar a identificar algunas propuestas más atractivas. Por ejemplo, una opción es modificar el plano propuesto intercambiando los departamentos 3 y 4. La salida de OM Explorer de la figura 3.6 muestra que la puntuación *wd* para esta segunda revisión no solo baja a 80, también requiere que se relocalicen nada más tres departamentos comparado con la disposición de original de la figura 3.4. Quizá esta segunda propuesta es la mejor solución.

Diseño de una disposición detallada

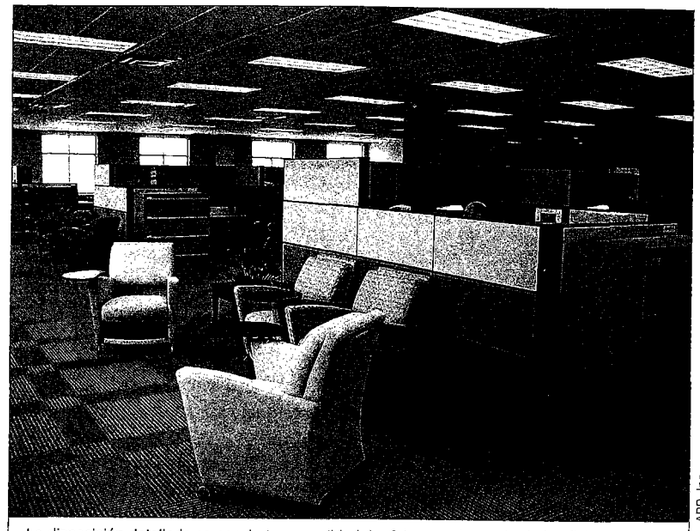
Después de encontrar el plano de bloques satisfactorio, el paso final lo traduce en una representación detallada que muestra el tamaño y forma exactos de cada centro; el arreglo de los elementos (como escritorios, máquinas y áreas de almacén) y la localización de pasillos, escaleras y otros espacios de servicio. Estas representaciones visuales pueden ser dibujos en dos dimensiones, modelos en tres dimensiones o gráficas en computadora. Este paso ayuda a los tomadores de decisiones a discutir las propuestas y los problemas que de otra manera se pasarían por alto; pueden ser particularmente importantes cuando se evalúan procesos de alto contacto con el cliente.

Participación del cliente

Al haber cubierto decisiones acerca de la estructura de procesos y cómo se traducen en una disposición, ahora nos centramos en una segunda decisión importante: la participación del cliente, mostrada en la figura 3.1. La participación del cliente es la forma en que este se convierte en parte del proceso y el grado en el que participa. Es especialmente importante para muchos procesos de servicio que el contacto con el cliente sea estrecho.

Mientras que eBay idea la manera de acomodar la variabilidad generada por la participación del cliente, Starbucks se enfrenta a la variabilidad de un tipo diferente de consumidor. La cadena de cafeterías permite al cliente elegir entre muchas combinaciones de tamaños, sabores y técnicas

de preparación de sus bebidas. Con el fin de satisfacer las órdenes de manera precisa y eficiente, Starbucks capacita a sus empleados para repetir en voz alta las órdenes a quienes preparan las bebidas en una secuencia específica. Es todavía mejor cuando los clientes mismos lo pueden hacer. Starbucks intenta enseñar al cliente su protocolo de pedidos. Primero, proporciona un panfleto con la "guía para ordenar" para que los clientes lo vean. Segundo, capacita a los empleados para que repitan la orden en la secuencia correcta a los que preparan, que tal vez no sea como el cliente la presentó. Este proceso no solo facilita la preparación de las bebidas, sino que indirectamente enseña a los clientes cómo hacer su pedido.



ABB, Inc.

La disposición detallada se convierte en realidad. La foto muestra parte de la oficina en una de las instalaciones de la ABB, un líder global en tecnologías de energía y automatización. Las estaciones de trabajo son pequeñas y semiprivadas, aunque también se dispone de cubículos. Además, el área común tiene sillones con brazos que proporcionan una superficie para escribir o para la computadora; las personas se reúnen aquí para pláticas cara a cara, más que comunicarse por correo electrónico.

Desventajas posibles

La participación del cliente no siempre es una buena idea. En algunos casos, dar al cliente un contacto más activo en un proceso de servicio solo ocasiona interrupciones y hace que el proceso sea menos eficiente. Manejar el tiempo y el volumen de las demandas de los clientes se vuelve un reto mayor si el cliente está físicamente presente y espera una entrega rápida. Exponer las instalaciones y los empleados al cliente puede tener implicaciones de calidad importantes (favorables o desfavorables). Estos cambios hacen que las habilidades interpersonales sean un prerrequisito del trabajo para laborar con el proveedor del servicio, pero niveles más altos de habilidades vienen con un costo. Revisar la disposición de la instalación puede ser una inversión necesaria ahora que el manejo de las percepciones de los clientes se convierte en una parte importante del proceso. También significaría tener muchas instalaciones más pequeñas descentralizadas, pero más cercanas a las diferentes áreas de concentración de clientes, si estos llegan con el proveedor del servicio.

Ventajas posibles

A pesar de estas posibles desventajas, las ventajas de un proceso más enfocado al cliente puede incrementar el valor neto para el cliente. Algunos clientes buscan la participación activa y el control sobre el proceso de servicio, en particular si disfrutan ahorros tanto en precio como tiempo. El administrador debe evaluar si las ventajas compensan las desventajas, juzgando los términos de las prioridades competitivas y satisfacción del cliente. Mayor participación del consumidor significaría mejor calidad, entrega más rápida, mayor flexibilidad e, incluso, menor costo. El autoservicio es la elección de muchas tiendas, como gasolineras, supermercados y servicios bancarios. Los fabricantes de productos (como juguetes, bicicletas y muebles) también pueden preferir que el cliente realice el ensamble final, ya que los costos de producto envío e inventario con frecuencia son más bajos. La participación del cliente también ayudaría a coordinar la cadena de suministro (vea el capítulo 12: "Integración de la cadena de suministro"). Las tecnologías emergentes permiten a las compañías promover un diálogo activo con los clientes y asociarlos en la creación de valor y el pronóstico de la demanda futura. Las compañías también pueden revisar algunos de sus procesos tradicionales, como fijación de precios y sistemas de facturación, para tomar en cuenta el nuevo papel de sus clientes. Por ejemplo, en las relaciones negocio a negocio, Internet cambia los papeles que desempeñan las compañías con otros negocios. Los proveedores de las compañías automotrices pueden tener una colaboración cercana en el proceso de desarrollar nuevos vehículos y dejar de ser proveedores pasivos de materiales y servicios. Esto también es una realidad para los distribuidores. Walmart hace más que distribuir productos de Procter & Gamble; comparte la información de las ventas diarias con Procter & Gamble en el manejo de inventarios y las operaciones de almacenaje.

Ramin Talaie/Corbis

Un cliente de la popular cadena de cafeterías Starbucks hace su pedido de la forma correcta. Al estructurar el proceso de solicitud de pedidos para clientes y empleados en el mostrador, Starbucks puede ocuparse de manera eficiente de los diversos productos que ofrece sin menoscabar la experiencia del servicio.

ABB, Inc.

Los técnicos del departamento de reparación de partes de esta instalación de ABB deben ser lo suficientemente flexibles para reparar muchas partes diferentes de los equipos de automatización instalados en los edificios de los clientes. Esta operación tiene 30 estaciones de trabajo configuradas para realizar distintos tipos de procesos. Se capacita a los trabajadores para tareas que se mueven de una estación a otra dependiendo de lo que se requiera.

Flexibilidad de recursos

De la misma manera en que los administradores deben considerar el contacto con el cliente al tomar decisiones acerca de su participación, también deben pensar en la divergencia del proceso y sus diferentes flujos cuando toman decisiones sobre la flexibilidad de los recursos (como se muestra en la figura 3.1). Una alta divergencia en las tareas y flujos de proceso flexibles requieren mayor flexibilidad de los recursos del proceso (empleados, instalaciones y equipo). Los empleados deben realizar un rango amplio de tareas y el equipo debe ser de propósito general. De otra manera, la utilización de recursos será demasiado baja para lograr que la operación sea económica.

Fuerza de trabajo

Los administradores de operaciones deben decidir si deben tener una **fuerza de trabajo flexible**. Los miembros de una fuerza de trabajo flexible deben ser capaces de realizar muchas tareas, sea en su propia estación de trabajo o cambiando de una estación a otra. Sin embargo, esa flexibilidad con frecuencia tiene un costo al requerir mayores habilidades y con ello más capacitación y educación. De todas formas, los beneficios pueden ser grandes: la flexibilidad de la fuerza de trabajo puede ser uno de los mejores caminos para lograr un servicio al cliente confiable y aliviar los cuellos de botella en la capacidad. La flexibilidad en los recursos ayuda a absorber las variaciones excesivas a casi cero en las cargas de trabajo ocasionadas por volúmenes de producción alto-bajo, tareas divergentes, flujos flexibles y programación fluida.

fuerza de trabajo flexible

Fuerza de trabajo cuyos miembros están capacitados para hacer muchas tareas, ya sea en sus estaciones de trabajo o al moverse de una estación a otra.

El nuevo tipo de fuerza de trabajo requerida también depende de la necesidad de tener flexibilidad en el volumen. Cuando las condiciones permiten una tasa de producción o salida uniforme y estable, la opción más probable es una fuerza de trabajo permanente que espera un empleo de tiempo completo normal. Si el proceso está sujeto a picos y valles en la demanda por hora, día o temporada, la mejor solución puede ser empleados temporales o de tiempo parcial para complementar un grupo más pequeño de empleados de tiempo completo. No obstante, este enfoque quizá no sea práctico si los requerimientos de habilidades y conocimientos son demasiado altos para que un trabajador temporal aprenda con rapidez.

MyOMLab

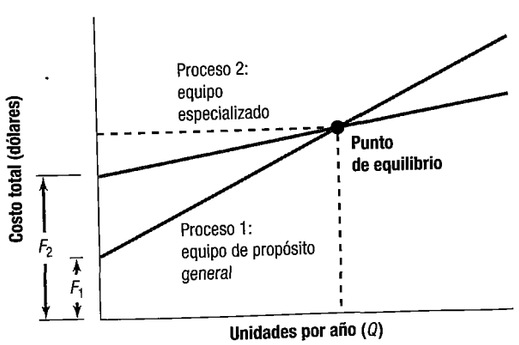
El tutor 3.2 en MyOMLab muestra cómo realizar un análisis de punto de equilibrio para la selección de equipo.

Equipo

Bajos volúmenes significa que los diseñadores de procesos deben seleccionar equipo flexible de propósito general. La figura 3.7 ilustra esta relación con las rectas de costos totales para dos tipos diferentes de equipos que se pueden elegir para un proceso. Cada recta representa el costo total anual del proceso para diferentes niveles de volumen. Es la suma de los costo fijos y variables (vea el suplemento A, "Toma de decisiones"). Cuando los volúmenes son bajos (debido a personalización alta), el proceso 1 es la mejor opción. Necesita equipo general, que mantiene la inversión de capital baja, al igual que los costos fijos (F_1). Su costo unitario variable es alto, lo que da a su recta de valor total una pendiente relativamente pronunciada. El proceso 1 funciona, pero no con su máxima eficiencia.

Por el contrario, el proceso 2 es la mejor opción cuando el volumen es alto y la personalización baja. Su ventaja es un costo variable unitario bajo, como se refleja en la recta de costo total menos inclinada. Esta eficiencia es posible cuando la personalización es baja porque el equipo se puede diseñar para un rango pequeño de productos o tareas. Su desventaja es la alta inversión en equipo y con ello, costos fijos (F_2) altos. Cuando el volumen anual producido es suficientemente alto, lo que prorratea estos costos fijos entre más unidades producidas, la ventaja de costos variables bajos compensa los costos fijos altos.

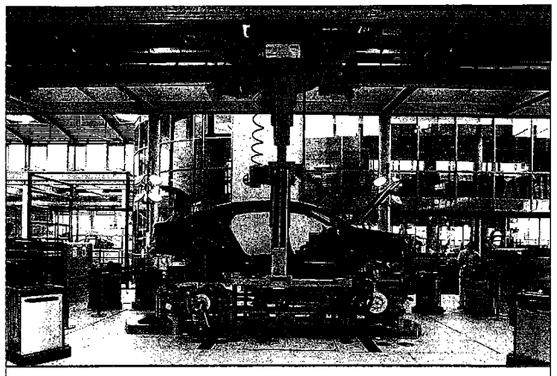
▼ **FIGURA 3.7**
Relaciones entre costo de procesos y volumen de productos



El punto de equilibrio en la figura 3.7 es la cantidad en la cual los costos totales de las dos alternativas son iguales. En cantidades mayores que esta, el costo del proceso 1 excede al del proceso 2. A menos que la empresa espere vender más unidades que las del punto de equilibrio, lo cual es poco probable con alta personalización y bajo volumen, la inversión de capital del proceso 2 no está garantizada.

Intensidad de capital

La intensidad de capital es la mezcla de equipo y habilidades humanas en el proceso; cuanto mayor sea el costo relativo del equipo, mayor será la intensidad de capital. Conforme las capacidades tecnológicas aumentan y sus costos disminuyen, los administradores se enfrentan un rango cada vez más grande de opciones, desde operaciones que utilizan muy poca automatización hasta las que requieren equipo específico y poca intervención humana. La **automatización** es un sistema o pieza de equipo que actúa y se regula por sí solo. Aunque muchas veces se piensa que la automatización es necesaria para tener una utilidad competitiva, tiene ventajas y desventajas. Entonces, la decisión de automatización requiere un examen cuidadoso.



LOOK Die Bildagentur der Fotografen GmbH/Alamy

Volkswagen aspira a convertirse en un fabricante de línea completa de automóviles que va de los compactos más pequeños a los modelos de lujo más grandes. Por ejemplo, en Estados Unidos ofrece el Jetta, GTI, Golf, Passat, CC, Routan, Tiguan, Touareg y Eos. El nuevo VW Phaeton es el ejemplo más reciente del extremo superior de la marca. Utiliza un proceso en línea dedicado estrictamente al Phaeton. Debido al enfoque en este modelo, que no se arma en otra parte, tiene volúmenes altos. Este volumen justifica la alta inversión en automatización en esta planta de $280 millones. Está localizada en el corazón de Dresden, una ciudad conocida por sus artes y habilidades artesanales. Sus paredes son casi exclusivamente de vidrio y sus pisos están cubiertos por completo de madera de maple de Canadá. No hay chimeneas ni ruido, tampoco subproductos tóxicos. Las partes llegan y se van en automóviles de lujo. Por supuesto, no siempre es posible tener una planta así, como cuando se trata de una fundidora de acero. La foto muestra la llegada de la estructura del cuerpo de un auto que se pinta en una planta a 60 millas de Dresden. Es como se ve cuando llega, antes de que inicie el ensamble del Phaeton. Si desea ver más fotos visite **http://forums.vwvortex.com/showthread.php?1837641**.

Automatización de procesos de manufactura

Sustituir equipo de capital y tecnología para ahorrar mano de obra ha sido una manera típica de mejorar la productividad y la uniformidad en la calidad de los procesos de manufactura. Si los costos de inversión son grandes, la automatización funciona mejor cuando el volumen es alto, porque la personalización va ligada a un volumen reducido. Gillette, por ejemplo, gastó $750 millones en líneas de producción y robótica que le dieron capacidad para fabricar 1.2 mil millones de cartuchos de rasuradora al año. El equipo es complicado y costoso. Solo con volúmenes tan altos podía esta línea fabricar el producto a un precio suficientemente bajo para que los consumidores lo pudieran comprar.

Una gran desventaja de la intensidad de capital puede ser el costo de inversión prohibitivo para las operaciones de bajo volumen (vea la figura 3.7). En general, las operaciones intensivas en capital deben tener una alta utilización para justificarse. Además, la automatización no siempre se alinea con las prioridades competitivas de la compañía. Si una empresa ofrece un producto único o un servicio de alta calidad, las prioridades competitivas pueden indicar la necesidad de mano de obra manual y atención individual en lugar de una nueva tecnología. Un caso relevante es el de los procesos posteriores de la cadena de suministro de Gillette. Personalizan el empaque para diferentes regiones del mundo, de manera que para un tipo dado de empaque los volúmenes son mucho más bajos. Como resultado, Gillette no utiliza automatización costosa para estos procesos. De hecho, los subcontrata. Producir cartuchos de rasuradoras para almacenarlos usando procesos altamente automatizados y luego empacarlos de manera personalizada en lugares remotos según la demanda, es también un buen ejemplo del principio de aplazamiento.

automatización

Sistema, proceso o pieza de equipo que actúa y se regula a sí mismo.

Automatización flexible Los fabricantes utilizan dos tipos de automatización: **1.** fija y **2.** flexible (o programable). Apropiada en particular para procesos en línea y de flujo continuo, la **automatización fija** produce un tipo de parte o producto en una secuencia fija de operaciones sencillas. Los administradores de operaciones favorecen la automatización fija cuando el volumen de demanda es alto, el diseño del producto es estable y los ciclos de vida del producto son largos. Estas condiciones compensan los dos inconvenientes principales del proceso: **1.** el costo de la inversión inicial y **2.** la inflexibilidad relativa. Sin embargo, la automatización fija maximiza la eficiencia y da los menores costos variables por unidad si el volumen es alto.

automatización fija

Proceso de manufactura que produce un tipo de parte o producto en una secuencia fija de operaciones simples.

Automatización flexible La **automatización flexible (o programable)** puede cambiarse con facilidad para manejar varios productos. La habilidad de reprogramar máquinas es útil para ambos procesos, de baja y de alta personalización. En el caso de alta personalización, una máquina que hace varios productos en pequeños lotes se puede programar para alternar entre artículos. Cuando una máquina está dedicada a un producto o familia de productos, como en el caso de baja personalización y flujo en línea, o bien que el producto esté al final de su ciclo de vida, la máquina sencillamente se reprograma con una nueva secuencia de tareas para un nuevo producto. Un **robot industrial**, que es una máquina versátil controlada por computadora y programada para realizar varias tareas, es un ejemplo clásico de automatización flexible. Estos "trabajadores de acero" operan en forma independiente del control humano. El brazo de un robot tiene hasta seis movimientos estándar. La mano de robot realiza el trabajo y puede cambiarse para realizar diferentes tareas, como manejo de materiales, ensamble y pruebas. La práctica administrativa 3.1 describe cómo R.R. Donnelley se beneficia con una automatización flexible que permite cambios rápidos entre una orden de un cliente y otra.

automatización flexible (o programable)

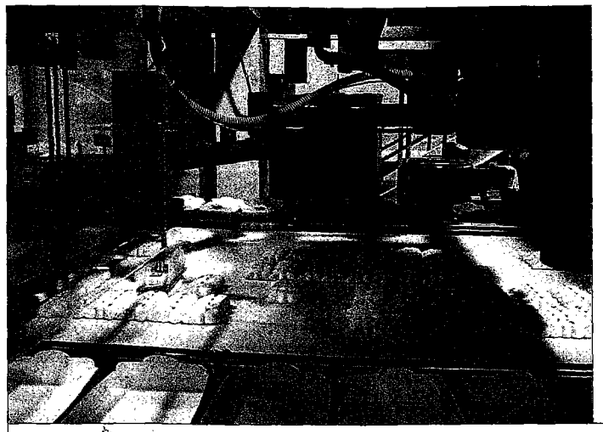
Proceso de manufactura que puede cambiar con facilidad para manejar diferentes productos.

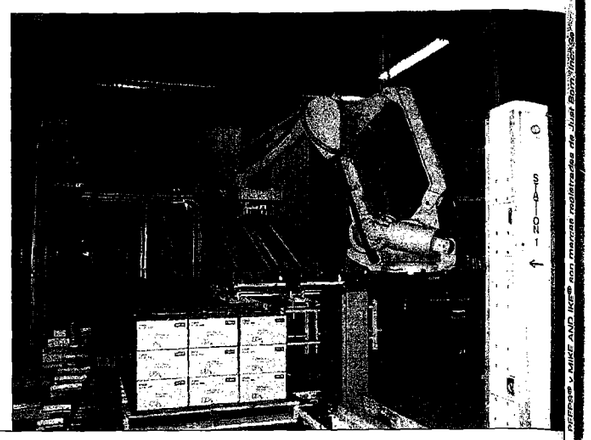
robot industrial

Máquina versátil, controlada por computadora programada para realizar varias tareas.

Automatización de procesos de servicio

Utilizar inversiones de capital, como medida para ahorrar en mano de obra, también es recomendable para los procesos de servicio. En los servicios educativos, por ejemplo, la tecnología de aprendizaje remoto ahora puede complementar, incluso sustituir, la experiencia del salón de clase usando libros, computadoras, sitios de Internet y videos como bienes facilitadores. La justificación de la tecnología





Automatización flexible en Just Born, Inc., una compañía de dulces en Pensilvania. (**www.justborn.com**).

En la foto de la izquierda un robot levanta los conejitos amarillos de malvavisco PEEPS® con gran velocidad en grupos de cuatro y los coloca en charolas preformadas, que luego mueve a las máquinas de envoltura automática. Posteriormente, las charolas se ponen en cajas para su envío. Antes de este proceso en línea se les dio forma por extrusión en una banda con, aproximadamente, 1/2 pulgada de azúcar y por último se enfrían al mover la banda. El robot se reprograma con regularidad según la configuración del malvavisco que se produce.

En la foto de la derecha, el robot usa ventosas de vacío en la "mano" para levantar cajas de cinco libras de MIKE AND IKE®, cada una de estas contiene seis bolsas del producto. El robot lee un código de barras, conoce la configuración de la tarima, levanta y coloca la tarima y una hoja de cartón delgada en la banda y apila las cajas hasta que termina. Después, la tarima va hacia la cámara para que la saquen de la línea con un montacargas; luego se envuelven (de manera automática) y se cargan en un camión de 50 pies. PEEPS® y MIKEANDIKE® son marcas registradas de Just Born, Inc. Utilizado con permiso.

no necesita limitarse a la reducción de costo. Algunas veces, de hecho, puede permitir mayor divergencia de tareas con la disponibilidad de un menú de opciones mucho más amplio para el cliente.

La tecnología en el futuro, con seguridad, hará posible un grado aún mayor de personalización y variedad en los servicios que en la actualidad solo los proveedores humanos pueden llevar a cabo. Más allá de las consideraciones de costo y variedad, la administración debe comprender al cliente y cuánto valora el contacto cercano. Si los clientes buscan una presencia visible y atención personal, las tecnologías que se reducen a ordenar una variedad de opciones en Internet o por teléfono pueden ser una mala elección.

La necesidad de volumen para justificar la costosa automatización es tan válida para los procesos de servicio como para los de manufactura. Aumentar el volumen disminuye el costo por dólar de ventas. El volumen es esencial para muchos procesos intensivos en capital en las industrias de transporte, comunicación y servicio público.

Economías de alcance

Si la intensidad de capital es alta, la flexibilidad de los recursos suele ser baja. En cierto tipo de operaciones de manufactura, como maquinado y ensamble, la automatización programable rompe con la relación inversa entre flexibilidad de recursos e intensidad de capital. Hace posible que ocurran ambos, la intensidad de capital alta y la flexibilidad de recursos alta, creando economías de alcance. La **economía de alcance** refleja la habilidad de producir múltiples productos de manera menos costosa al combinarlos que por separado. En esas situaciones, dos prioridades que compiten, personalización y precio bajo, se vuelven compatibles. Sin embargo, aprovechar las economías de alcance requiere que una familia de partes o productos tengan suficiente volumen colectivo para utilizar el equipo totalmente.

economía de alcance
Economías que reflejan la habilidad de producir múltiples productos a menor costo al combinarlos por separado.

Las economías de alcance también se aplican a los procesos de servicio. Considere, por ejemplo, el enfoque de Disney para Internet. Cuando los administradores de la compañía ingresaron al volátil mundo de Internet, sus negocios tenían solo un vínculo débil. El negocio de Disney, Infoseek, de hecho ni siquiera era todo de ellos. Sin embargo, una vez que sus mercados de Internet comenzaron a cristalizarse, los administradores de Disney decidieron recoger los beneficios de las economías de escala. Hicieron una liga agresiva de todos sus procesos de Internet y con otras partes de Disney. Una tecnología flexible que maneja muchos servicios juntos puede ser menos costosa que manejar cada uno por separado, en particular cuando los mercados no son demasiado volátiles.

Ajuste estratégico

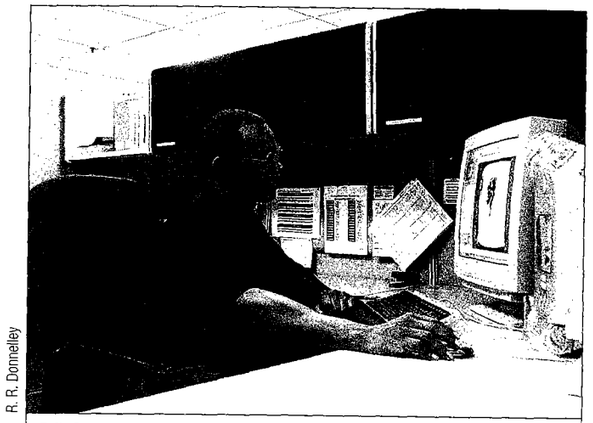
El administrador debe comprender la relación entre las cuatro decisiones clave de procesos para detectar maneras de mejorar los procesos que tienen malos diseños. Las opciones deben ajustarse a la situación y entre ellas. Cuando el ajuste es más *estratégico*, el proceso será más efectivo. Examinaremos los procesos de servicio y manufactura buscando maneras de probar el ajuste estratégico.

PRÁCTICA ADMINISTRATIVA 3.1 Automatización flexible en R.R. Donnelley

R.R. Donnelley & Sons Company es la imprenta comercial más grande de Estados Unidos y la número uno en impresión de libros. La industria hace enormes inversiones de capital en sus prensas para ayudar a disminuir el costo unitario de un libro (véase la figura 3.7). Utiliza una estrategia de producir por pedido en la que los clientes, como editores, colocan nuevas órdenes cuando sus inventarios bajan. Sin embargo, el tiempo de "dejar todo listo" para preparar una nueva orden y cambiar las prensas para el siguiente pedido era tardado. Tener equipo ocioso tan caro para los cambios es costoso. Estos altos costos fuerzan tanto a clientes, como a los editores, a colocar órdenes grandes pero poco frecuentes para sus libros.

La automatización flexible en su planta de Roanoke, Virginia permite a R.R. Donnelley ir por otro camino y está cosechando grandes compensaciones. El nuevo proceso comienza cuando llega el contenido de un libro vía Internet como un archivo PDF (formato de documento portátil) y se va al departamento de pre-prensa de la planta. El intrincado manual de operaciones requerido para el texto y las fotografías para impresión, por tradición, ocasiona los peores cuellos de botella. Roanoke ahora hace sus placas digitales en lugar de utilizar película fotográfica. Con la eliminación de pasos como duplicar y limpiar el archivo, una tarea que solía tomar horas, ahora puede terminarse en 12 minutos. El flujo de trabajo todo digital también hace posible la creación de instrucciones electrónicas, conocidas como ajustes de tinta, que mejoran la productividad y la calidad. Se crean placas más limpias y claras para las prensas porque, a diferencia de los negativos, el tipo electrónico no tiene que manejarse una y otra vez.

Con automatización más flexible, la planta de Roanoke produce 75% de sus títulos en dos semanas o menos comparado con las 4 a 6 semanas para un libro a color usando la tecnología tradicional. La administración generó una cultura de mejoramiento continuo en la planta, lugar de trabajo para unas 300 personas. En resumen, Roanoke incrementó su producción 20% sin tener que comprar prensas adicionales y líneas de encuadernación, ahorrando $15 millones. Sus prensas corren las 24 horas para producir 3.5 millones de libros al mes; la productividad subió 20% y el servicio mejoró. Los editores ahora disfrutan un producto "justo a tiempo" cuando lo necesitan.



R. R. Donnelley

R.R. Donnelley pudo lograr una automatización flexible recibiendo libros digitales y preparándolos para llegar a la prensa de manera electrónica. Esto permite a la compañía poner libros en la prensa con más rapidez e imprimir tirajes más pequeños, cantidades más manejables en una sola corrida de producción.

Fuente: Gene Bylinsky, "Two of America's Best Have Found New Life Using Digital Tech", *Fortune*, vol. 148, núm. 4 (2003), pp. 54-55. © 2004 Time Inc. Todos los derechos reservados; **www.rrdonnelley.com**, 21 de marzo, 2011.

Patrones de decisión para procesos de servicio

Después de analizar un proceso y determinar su posición en la matriz cliente-contacto de la figura 3.2, puede parecer evidente que está mal posicionado, ya sea demasiado a la izquierda o a la derecha, o demasiado hacia arriba o abajo. Las oportunidades de mejora saltan a la vista. Quizá se necesita más personalización y contacto con el cliente que lo que el proceso proporciona. Tal vez, el proceso es demasiado divergente, con flujos flexibles innecesarios. Reducir la divergencia suele reducir los costos y mejorar la productividad.

El proceso debe reflejar sus prioridades competitivas. Las estructuras de mostrador en general dan importancia a la alta calidad y personalización, mientras que es más probable que las de trastiendas resalten operaciones de bajo costo, calidad uniforme y entrega a tiempo. La estructura seleccionada para el proceso señala el camino a las opciones adecuadas para la participación del cliente, la flexibilidad de recursos y la intensidad de capital. La figura 3.8 muestra cuál es la relación de estas decisiones clave del proceso con el contacto con el cliente. Un alto contacto con el consumidor en una estructura de mostrador significa:

1. *Estructura de proceso.* El cliente (interno o externo) está presente, participa activamente y recibe atención personal. Estas condiciones crean procesos con alta divergencia y flexibilidad en los flujos del proceso.
2. *Participación del cliente.* Cuando el contacto con el cliente es cercano, es más probable que los clientes se conviertan en parte del proceso. El servicio creado para cada uno de ellos es único.
3. *Flexibilidad de recursos.* Una alta divergencia en el proceso y flujos flexibles se ajustan con una mayor flexibilidad en los recursos del proceso: su fuerza de trabajo, las instalaciones y el equipo.
4. *Intensidad de capital.* Cuando el volumen es alto, la automatización y la intensidad de capital son más factibles. Aun cuando suele suponerse que un volumen alto se encuentra en la estructura de trastienda, es igualmente probable que ocurra en el mostrador para los servicios financieros. La tecnología de la información es una clase importante de automatización en muchos procesos de servicio, que une a la flexibilidad de recursos y la automatización.

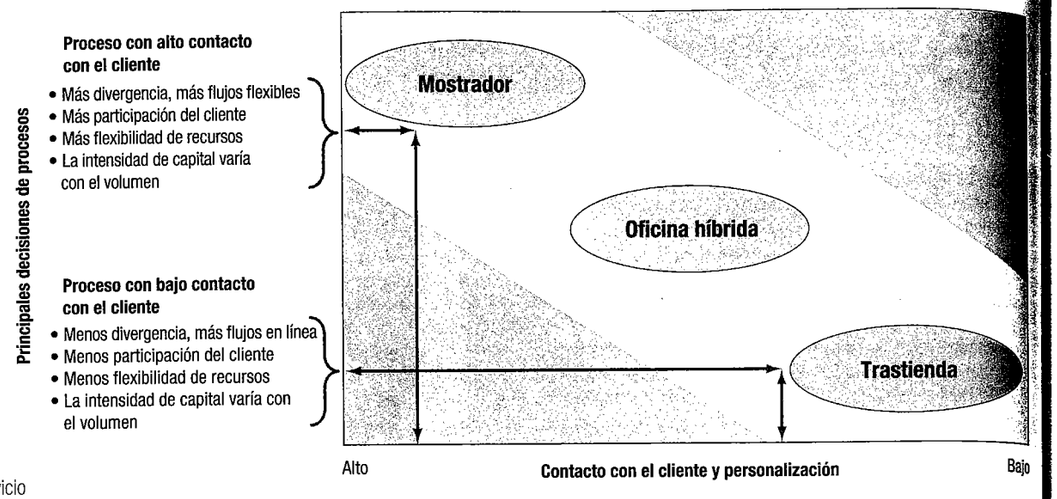


FIGURA 3.8 ▶
Patrones de decisión para procesos de servicio

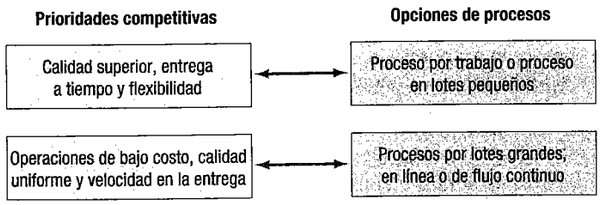
Desde luego, esta lista da tendencias generales y no prescripciones rígidas. Se puede encontrar excepciones, pero esta relación proporciona una manera de comprender cómo se vinculan con coherencia las decisiones para los procesos de servicio.

Patrones de decisión para procesos de manufactura

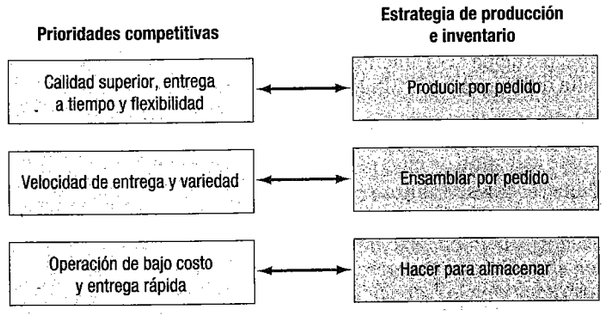
Igual que los procesos de servicio se posicionan en la matriz cliente-contacto, uno de manufactura también se puede mover en la matriz producto-proceso. Es posible hacer cambios en la dirección horizontal de la figura 3.3, cambiando el grado de personalización y el volumen, o se puede mover en la dirección vertical cambiando la divergencia del proceso. La estrategia de producción e inventario también puede cambiar. Deben estudiarse las prioridades competitivas cuando se traduce la estrategia en un proceso de manufactura específico. La figura 3.9 muestra algunas tendencias usuales encontradas en la práctica. Los procesos por trabajo y lotes pequeños son la opción usual cuando se trata de alta calidad, entrega a tiempo y flexibilidad (en personalización, variedad y volumen), pues reciben la importancia primordial. Los procesos con lotes grandes, en línea y de flujo continuo se ajustan a un énfasis en operaciones de bajo costo, calidad uniforme y velocidad en la entrega.

Para estrategias de producción e inventario, la estrategia de fabricar por pedido se ajusta a la flexibilidad (en particular la personalización) y la calidad superior. Como la velocidad en la entrega es más difícil, cumplir con las fechas de entrega y la entrega a tiempo se resaltan en la dimensión del tiempo. La estrategia de ensamblar por pedido permite que se logren la velocidad de entrega y la flexibilidad (en particular la variedad), mientras que la estrategia de producir para almacenar es la opción usual si se desea tiempo de entrega y operaciones de bajo costo. Mantener un artículo en inventario asegura una entrega rápida debido a su disponibilidad general cuando se necesita, sin retrasos para producirlo. Los volúmenes altos abren oportunidades para reducir costos.

▼ FIGURA 3.9
Relaciones de las prioridades competitivas con la estrategia de manufactura



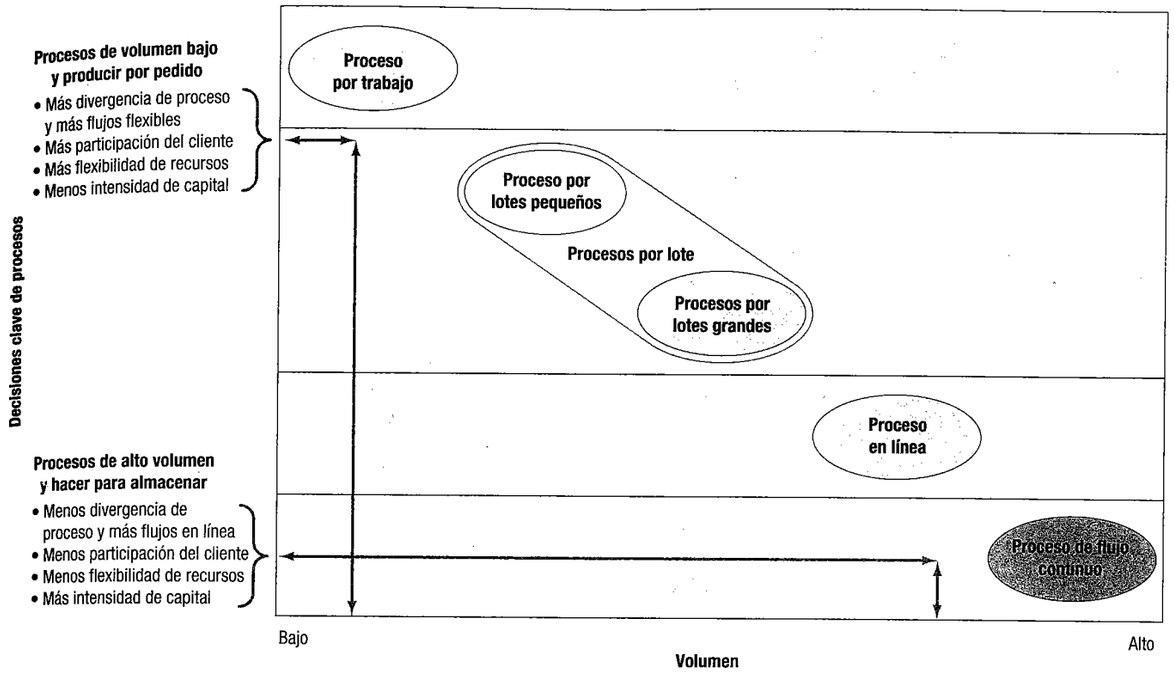
a) Relaciones con las opciones de procesos



b) Relaciones con las estrategias de producción e inventario

La estructura de proceso seleccionada, una vez más señala el camino para las opciones adecuadas de participación del cliente, flexibilidad de recursos e intensidad de capital. La figura 3.10 resume las relaciones entre el volumen y las cuatro decisiones clave de los procesos. El tipo altos volúmenes, por parte en un proceso de manufactura, en general quiere decir:

1. *Estructura de proceso.* Altos volúmenes, combinados con un producto estándar hacen posible un flujo en línea. Es el opuesto de proceso por trabajo que produce órdenes específicas de los clientes.
2. *Participación del cliente.* La participación del cliente no es un factor en la mayoría de los procesos de manufactura, excepto por las opciones elegidas respecto a variedad de productos y personalización. Se permite menor juicio personal en los procesos en línea o de flujo continuo, con el fin de evitar las demandas impredecibles requeridas por órdenes personalizadas.



▲ FIGURA 3.10
Patrones de decisión para procesos de manufactura

3. *Flexibilidad de recursos.* Cuando los volúmenes son altos y la divergencia de procesos es baja, la flexibilidad no es necesaria para utilizar los recursos de manera efectiva y la especialización puede llevar a procesos más eficientes.
4. *Intensidad de capital.* Los volúmenes altos justifican los costos fijos elevados de una operación eficiente. La línea de pan King Soopers (vea *The Big Picture* y el video en MyOMLab) es de capital intensivo. Está automatizada desde la mezcla de la masa hasta la colocación del producto en las charolas para envío. Expandir este proceso sería costoso. A manera de contraste, el proceso del pastel especial de King Soopers es intensivo en mano de obra y requiere poca inversión para equipar a los trabajadores.

MyOMLab

Logro de un enfoque

En el pasado, se agregaban nuevos servicios o productos a una instalación con la intención de mejorar la utilización de los costos fijos y mantener todo bajo el mismo techo. El resultado fue una mezcla de prioridades competitivas, estructuras de procesos y tecnologías. En el esfuerzo por hacer todo, nada quedaba bien hecho.

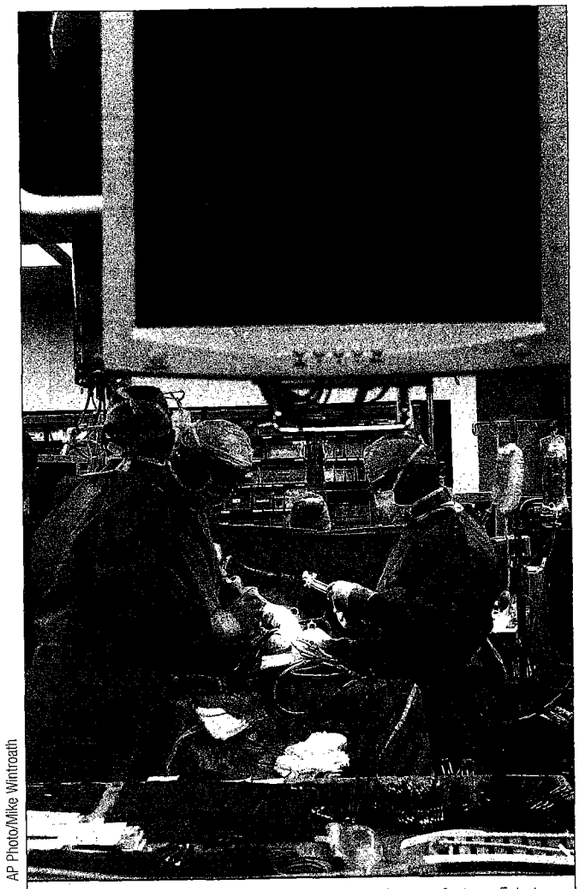
Enfoque por segmentos Las operaciones de una instalación, con frecuencia, no se pueden caracterizar ni de hecho diseñar para un conjunto de prioridades competitivas y una opción de proceso. King Soopers (vea *The Big Picture* y el video en MyOMLab) tenía tres procesos bajo un techo, pero la administración los segmentó en tres operaciones separadas que eran relativamente autónomas. En la instalación de servicio, algunas partes del proceso parecerán como una estructura de mostrador y otras partes como una estructura de trastienda. Estos arreglos pueden ser efectivos, siempre que se dé un enfoque suficiente a cada proceso.

MyOMLab

Las **plantas dentro de la planta** (PDP) son diferentes operaciones dentro de una instalación con prioridades, procesos y fuerza de trabajo individualizados bajo el mismo techo. Las fronteras de las PDP pueden establecerse separando físicamente las subunidades o simplemente revisando la relación organizacional. En cada PDP, la personalización, el volumen de intensidad de capital y otras relaciones son cruciales y deben complementarse. Las ventajas de las PDP son menos niveles gerenciales, mayor habilidad para confiar en la solución del equipo y líneas de comunicación más cortas entre departamentos.

plantas dentro de la plantas (PDP)
Operaciones diferentes dentro de una instalación con prioridades competitivas, procesos y fuerza de trabajo individualizados bajo el mismo techo.

Enfoque en operaciones de servicio Las industrias de servicio también ponen en práctica los conceptos de enfoque y PDP. Las tiendas especializadas abrieron otras más, pero con espacios más pequeños y accesibles. Estas instalaciones dedicadas, en general, se llevan parte del negocio de las grandes tiendas de departamentales. Con la misma filosofía, algunas tiendas departamentales



AP Photo/Mike Wintroath

Las fábricas dedicadas no se encuentran solo en la manufactura. Esta instalación dedicada a una sola especialidad se enfoca nada más en cirugía del corazón y tiene todos los recursos avanzados necesarios que no puede suministrar el hospital general. Otro ejemplo es la Shouldice Clinic, con sede en Toronto, se especializa en hernias.

ahora se enfocan en clientes o productos específicos. Las tiendas remodeladas crean el efecto de muchas boutiques pequeñas bajo un mismo techo.

Fábricas dedicadas Hewlett-Packard, Rolls-Royce, Ricoh y Mitsubishi de Japón e Imperial Chemical Industries PLC de Gran Bretaña son algunas empresas que crearon **fábricas dedicadas**, dividiendo las grandes plantas que producían todos los productos de la compañía en varias plantas especializadas más pequeñas. La teoría es que al reducir el rango de demandas sobre una instalación se obtiene mejor desempeño porque la administración se puede concentrar en menos tareas y conducir a su fuerza de trabajo hacia una sola meta.

Estrategias para el cambio

Las cuatro decisiones clave de procesos representan aspectos estratégicos amplios. Las decisiones que se toman deben traducirse en decisiones de diseños o rediseños de procesos reales. Concluimos con dos filosofías diferentes, pero complementarias, para el diseño de procesos: **1.** la reingeniería de procesos y **2.** la mejora de procesos.

Reingeniería de procesos

Reingeniería es el repensar fundamental y el rediseño radical de los procesos para mejorar el desempeño de manera drástica en términos de costo, calidad, servicio y velocidad. La reingeniería del proceso se trata de la reinvención, más que una gran mejora. Es una medicina fuerte y no siempre necesaria o exitosa. El dolor en la forma de despidos y grandes salidas de efectivo para inversiones en tecnología de la información, casi siempre acompañan al cambio masivo. Sin embargo, la reingeniería de procesos puede tener grandes beneficios. La tabla 3.4 enumera los elementos clave del enfoque general.

La reingeniería ha generado muchos éxitos y continuará haciéndolo. No obstante, no es sencillo ni fácil hacerlo, no es apropiado para todos los procesos o todas las organizaciones. La mejor comprensión de un proceso, y cómo mejorarlo, con frecuencia está en las personas que realizan el trabajo todos los días, mas no en equipos multifuncionales o en la alta administración.

fábricas dedicadas

El resultado de que una empresa divida las grandes plantas que producen todos los productos de la compañía en varias plantas más pequeñas y especializadas.

reingeniería

El repensar fundamental y el rediseño radical de procesos para mejorar el desempeño de manera drástica en términos de costo, calidad, servicio y velocidad.

TABLA 3.4 | ELEMENTOS CLAVE DE REINGENIERÍA

Elemento	Descripción
Procesos críticos	*El enfoque de reingeniería debe dedicarse a los procesos centrales de negocios. Las actividades de mejora de los procesos normales pueden continuar con los otros procesos.*
Liderazgo fuerte	Los ejecutivos de la alta administración deben proporcionar un liderazgo fuerte para que la reingeniería tenga éxito. De otra manera, el escepticismo, la resistencia ("ya intentamos eso antes") y las *fronteras entre los departamentos pueden bloquear los cambios radicales.*
Equipos funcionales cruzados	Un equipo, compuesto por miembros de cada área funcional afectada por el cambio en el proceso, se encarga de llevar a cabo el proyecto de reingeniería. Los equipos autónomos y el empoderamiento de los empleados son la regla más que la excepción.
Tecnología de la información	La tecnología de la información es un facilitador importante del proceso de ingeniería. La mayoría de los proyectos de ingeniería diseñan los procesos alrededor de los flujos de información, como la satisfacción de las órdenes de los clientes.
Filosofía de comenzar de cero	*La reingeniería requiere una filosofía de borrón y cuenta nueva; esto es, comenzar con la manera en que el cliente desea tratar con la compañía. Para asegurar una orientación al cliente, los equipos deben comenzar con los objetivos de los clientes internos y externos del proceso.*
Análisis del proceso	A pesar de la filosofía de comenzar de cero, un equipo de reingeniería debe comprender cosas acerca del proceso actual: *lo que hace, qué tan bien lo hace y qué factores le afectan.* El equipo debe ver todos los procedimientos involucrados en el proceso en toda la organización.

Mejoramiento del proceso

mejoramiento del proceso

Estudio sistemático de las actividades y flujos de cada proceso para mejorarlo.

El **mejoramiento del proceso** es un estudio sistemático de las actividades y flujos de cada proceso para mejorarlo. Su fin es "conocer los números", comprender el proceso y sacar los detalles. Una vez que realmente se comprende el proceso, se puede mejorar. La presión implacable para proporcionar una calidad mejor a un precio más bajo significa que las compañías deben revisar continuamente todos los aspectos de sus operaciones. El mejoramiento de los procesos sigue, se les haga reingeniería o no. *Siempre hay una mejor forma de hacerlo.*

Un individuo o todo un equipo examinan el proceso, usando las herramientas descritas en el siguiente capítulo. Debemos buscar maneras de simplificar las tareas, eliminar procesos completos, quitar materiales o servicios costosos, mejorar el ambiente o hacer los trabajos más seguros. Debemos encontrar la forma de reducir costos y retrasos y de mejorar la satisfacción del cliente.

REPASO DE LAS METAS DE APRENDIZAJE

1. **Explicar por qué existen procesos en todos lados en las organizaciones.** La sección "Estrategia de procesos en toda la organización", pp. 90-91, demuestra que el proceso de cadena de suministro existe en toda la cadena de suministro y de hecho está presente en todos lados de la organización. Ponga atención especial en las tablas 3.1 y 3.2.
2. **Analizar las cuatro decisiones clave de procesos.** La sección *"Decisiones estratégicas de procesos", pp. 91-92 identifica las* cuatro decisiones clave alrededor de las cuales se desarrolla un vocabulario para comprender las operaciones. La figura 3.1 muestra cómo interactúan al crear un diseño de proceso efectivo.
3. **Posicionar un proceso en la *matriz cliente-contacto o en la* matriz producto-proceso.** La matriz cliente-contacto para los procesos de servicio en la figura 3.2 muestra cómo el grado de contacto con el cliente y la personalización están relacionados con la divergencia del proceso y los flujos en línea. Surgen tres posiciones naturales: la de mostrador, la oficina híbrida y la de trastienda. En la manufactura, los impulsos importantes son la personalización y el volumen, que se relacionan con los flujos en línea y la cantidad de trabajo repetitivo. La figura 3.3 muestra estas relaciones en la forma de matriz producto-proceso, con posiciones naturales que van de proceso por trabajo a proceso de flujo continuo.
4. **Configurar las operaciones en una disposición de planta.** La sección "Disposición física", pp. 97-100, coloca la estructura del proceso en una forma física mostrando dónde se localiza cada operación dentro de la instalación. El ejemplo 3.1 muestra cómo desarrollar un plano de bloques y evaluarlo con la ayuda de *Layout Solver* de OM Explorer. Vea el problema resuelto 3.1, *es otro ejemplo.*
5. **Definir la participación del cliente, flexibilidad de recursos, intensidad de capital y economías de alcance.** Estos temas se cubren en las secciones "Participación del cliente", "Flexibilidad de recursos", "*Intensidad de capital*" y "*Economías de alcance*", pp. 100-104. Observe que la participación del cliente tiene ventajas y desventajas, la flexibilidad de recursos se aplica tanto a la fuerza de trabajo como al equipo; las economías de alcance en ciertas situaciones pueden romper la relación inversa entre la flexibilidad de los recursos y la intensidad de capital.
6. **Analizar cómo las decisiones de proceso deben funcionar juntas.** La sección "Ajuste estratégico", pp. 104-108, describe cómo deben funcionar juntas las cuatro decisiones clave de los *procesos. Las figuras 3.8 y 3.9 muestran los patrones de decisión* en forma pictórica. La sección concluye con una manera de conseguir estos patrones logrando un enfoque, ya sea con fábricas dedicadas o centrándose en segmentos de los procesos.
7. ***Definir reingeniería de procesos y mejora del proceso.*** La sección"Estrategias para el cambio", pp. 108-109, describe ambos enfoques para encontrar mejores diseños de procesos. La tabla 3.4 da los elementos clave de reingeniería. El mejoramiento del procesos es más un enfoque incremental que utiliza herramientas descritas en el siguiente capítulo.

MyOMLab le ayuda a desarrollar habilidades analíticas y evaluar su avance con múltiples problemas de análisis de punto de equilibrio, al elegir entre dos procesos diferentes, el método de la distancia ponderada y la disposición física.

Recursos de MyOMLab	Títulos	Vínculos con el libro
Videos	*King Soopers Bakery: Process Choice (Opción de proceso)* *Process Choice*: Pearson *Education Information Technology*	Estructuración del proceso de manufactura Intensidad de capital
Solver de OM Explorer	*Layout* (Disposición física)	Disposición
Tutores de OM Explorer	3.1 Medición de distancia 3.2 Punto de equilibrio para la selección de equipo	Aplicación del método de la distancia ponderada Ejemplo 3.1 (pp. 99-100) Flexibilidad de recursos Figura 3.7 (p. 102)
POM para Windows: *Layout*	Disposición	Ejemplo 3.1 (pp. 99-100)

Recursos de MyOMLab	Títulos	Vínculos con el libro
Ejercicios de tutor	3.1–Mt. Mudge	Aplicación del método de distancia ponderada Ejemplo 3.1 (pp. 99-100)
	3.2–Punto de equilibrio para selección de equipo	Flexibilidad de recursos Figura 3.7 (p. 102)
Smart Draw	Se usa con frecuencia para preparar disposiciones detalladas y planos de planta	Disposición detallada
Tours virtuales	1. Leannie Company Doll Factory	Opción de proceso; Estrategia de producción e inventario
	2. La Aluminum Casting Company	Opción de proceso; Estrategia de producción e inventario
Ejercicios en Internet	3.1–United Parcel Service	Estrategia de servicios; Participación del cliente
	3.2–Carnival and Twilight	
	3.3–Timbuk2	
Problemas avanzados	3.1 CCI Electronics	Disposición
	3.2 Getwell Hospital	Disposición
Casos adicionales	Car Lube Operations	Disposición física
	Hightech, Inc.	Disposición física
	The Pizza Connection	Diseño de una disposición detallada
	Bill's Hardware	Intensidad de capital
	The Big Picture: Process Choice at King Soopers Bakery	Estructura del proceso de manufactura
Ecuaciones clave		
Biblioteca de imágenes		

Ecuaciones clave

1. Distancia euclidiana: $d_{AB} = \sqrt{(x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2}$
2. Distancia rectilínea: $d_{AB} = |x_A - x_B| + |y_A - y_B|$

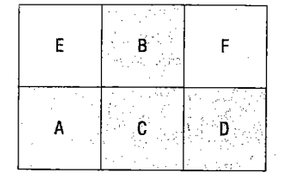
Términos clave

aplazamiento 96
automatización 103
automatización fija 103
automatización flexible (o programable) 103
contacto con el cliente 93
distancia euclidiana 99
distancia rectilínea 99
distribución 92
divergencia del proceso 93
economía de alcance 104
estrategia de ensamblar por pedido 96
estrategia de hacer para almacenar 97
estrategia de procesos 90
estrategia de producir por pedido 96
estructura de procesos 92
fábricas dedicadas 108
flexibilidad de recursos 92
flujo en línea 94
flujo flexible 93
fuerza de trabajo flexible 102
intensidad de capital 92
matriz de cercanía 98
mejoramiento del proceso 109
método de la distancia ponderada 98
mostrador 94
oficina híbrida 94
opción de proceso 95
participación del cliente 92
plano de bloques 98
plantas dentro de la planta (PDP) 107
proceso de flujo continuo 96
proceso en línea 96
proceso por lotes 96
proceso por trabajo 95
procesos de la cadena de suministro 91
producción en masa 97
reingeniería 108
robot industrial 103
trastienda 94

Problema resuelto 1

Un contratista está evaluando la disposición física actual de su taller de máquinas. La figura 3.11 muestra la disposición actual y la tabla presenta la matriz de cercanía para la instalación medida como el número de viajes por día entre los pares de departamentos. Las regulaciones de seguridad y salud requieren que los departamentos E y F permanezcan en sus lugares actuales.

	VIAJES ENTRE DEPARTAMENTOS					
Departamento	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**
A	—	8	3		9	5
B		—		3		
C			—		8	9
D				—		3
E					—	3
F						—



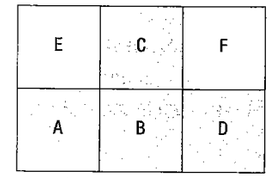
▲ **FIGURA 3.11**
Disposición actual

a) Utilice prueba y error para encontrar la mejor disposición física.

b) ¿Cuánto mejor es su disposición física comparada con la actual en términos de la puntuación *wd*? Utilice la distancia rectilínea.

SOLUCIÓN

a) Además de mantener los departamentos E y F en sus lugares actuales, un buen plano colocaría los siguientes pares de departamentos cerca unos de otros: A y E, C y F, A y B, y C y E. La figura 3.12 se trabajó por prueba y error y satisface todos los requerimientos. Comience por colocar E y F en sus lugares actuales. Luego, como C debe estar tan cerca como sea posible de E y F, coloque C entre ellos. Coloque A abajo de E y B junto a A. Todas la preocupaciones de tránsito se tomaron en cuenta. El departamento D, colocado en el espacio que sobra, no necesita relocalizarse.



▲ **FIGURA 3.12**
Disposición propuesta

		PLANO ACTUAL		PLANO PROPUESTO	
Par de departamentos	**Número de viajes (1)**	**Distancia (2)**	**Puntuación *wd* (1) × (2)**	**Distancia (3)**	**Puntuación *wd* (1) × (3)**
A, B	8	2	16	1	8
A, C	3	1	3	2	6
A, E	9	1	9	1	9
A, F	5	3	15	3	15
B, D	3	2	6	1	3
C, E	8	2	16	1	8
C, F	9	2	18	1	9
D, F	3	1	3	1	3
E, F	3	2	6	2	6
			wd = 92		*wd* = 67

b) La tabla revela que la puntuación *wd* baja de 92, para el plano actual, a 67 para el plano revisado, una reducción de 27 por ciento.

Preguntas para análisis

1. ¿Qué procesos en las empresas de manufactura son realmente procesos de servicio que incluyen un contacto considerable con el cliente? ¿Puede ser alto el contacto con el cliente, aun cuando el proceso solo tenga clientes internos?
2. Considere este letrero encontrado en un restaurante: "Las órdenes para llevar no incluyen tostadas ni salsa de cortesía. Si tiene alguna pregunta hable con nuestro gerente, NO con nuestros empleados." ¿Qué impacto tiene este mensaje en sus empleados, en el proceso de servicio y en la satisfacción del cliente? Compare este enfoque con el que toma un restaurante de cinco estrellas. ¿Las diferencias se deben principalmente a prioridades competitivas distintas?
3. ¿En qué difieren las estrategias de procesos de eBay y McDonald's y cómo se relacionan sus elecciones con la variabilidad introducida por el cliente?
4. La tecnología médica puede equipar a un paciente con un corazón artificial o curar defectos de visión con el toque de un láser. Sin embargo, los hospitales todavía luchan con sus procesos de trastienda, como llevar los archivos de rayos-X de radiología en el cuarto piso a los cuadros de luz en el primer piso en la sala de urgencias, sin tener que enviar un mensajero. Más de 90% de los 30 mil millones estimados de transacciones anuales se realizan por teléfono, fax o correo electrónico. ¿En qué grado y cómo puede la tecnología de la información mejorar la productividad y calidad de esos procesos? Recuerde que algunos doctores no están listos

para dejar sus blocs de notas y lápices y muchos hospitales tienen fuertes líneas alrededor de departamentos como farmacia, cardiología, radiología y pediatría.

5. Considere la gama de procesos en la industria de servicios financieros. ¿Qué posición en la matriz cliente-contacto ocuparía el proceso de vender servicios financieros al municipio? ¿Y el proceso de preparar los estados de cuenta mensuales? Explique por qué diferirían.
6. Los criterios de desempeño importantes al crear la disposición física pueden ir más allá de la comunicación y el manejo de materiales. Identifique el tipo de criterios de desempeño de la disposición física que pueden ser los más importantes en los siguientes contextos.
   a) Aeropuerto
   b) Banco
   c) Salón de clases
   d) Oficina de un diseñador de productos
   e) Despacho de abogados
7. Califique a los operadores de un centro de llamadas, que responden a preguntas de los clientes acerca de un producto de la compañía, en cada una de las cinco dimensiones de contacto con el cliente de la tabla 3.3. Utilice una escala de siete puntos, donde 1 = muy bajo y 7 = muy alto. Por ejemplo, si los operadores están físicamente presentes con el cliente, obtendrían una calificación de 1 por presencia física. Explique sus calificaciones y luego calcule una calificación combinada global para el contacto con el cliente. ¿Utilizó ponderaciones iguales al calcular la calificación combinada? ¿Por qué sí o por qué no? ¿En dónde está posicionado el proceso en la matriz cliente-contacto? ¿Está alineado de manera adecuada?, ¿por qué sí o por qué no?
8. Seleccione uno de los tres procesos mostrados en el video de MyOMLab para King Soopers (pan, pasta o pasteles especiales). ¿Qué tipo de proceso de transformación, opciones de proceso y estrategia de inventario están involucrados? ¿Está el proceso alineado de manera adecuada? Explique.

Problemas

El OM Explorer y POM para Windows están disponibles para todos los estudiantes de la décima edición de este libro. Vaya a **www.pearsonhighered.com/krajewski** para bajar estos paquetes de computadora. Si compró MyOMLab, también tiene acceso al software de modelos activos y mucha ayuda para resolver los problemas siguientes. Verifique con su instructor la mejor manera de usar estos recursos. En muchos casos, el instructor le pedirá que comprenda cómo se hacen los cálculos a mano. Por lo menos, el software proporciona una verificación de sus cálculos. Cuando los cálculos son muy complejos y la meta es interpretar los resultados al tomar una decisión, el software sustituye por completo los cálculos manuales.

Los problemas 1 y 2 aplican el análisis de punto de equilibrio (estudiado en el suplemento A, "Toma de decisiones") para procesar las decisiones.

1. La doctora Gulakowicz se dedica a la ortodoncia. Estima que agregar dos sillas nuevas para dentista aumentará los costos fijos en $150,000, incluyendo el anual equivalente de la inversión de capital y el salario de un técnico más. Se espera que cada paciente nuevo traiga $3,000 anuales de ingresos adicionales, con costos variables estimados en $1,000 por paciente. Las dos sillas nuevas permitirían a la doctora Gulacowicz expandir su práctica con 200 pacientes anuales. ¿Cuántos pacientes tendría que agregar para que el nuevo proceso "saliera a mano"?
2. Se están estudiando dos procesos de manufactura diferentes para hacer un nuevo producto. El primer proceso es menos intensivo en capital, con costos fijos de solo $50,000 por año y costos variables de $700 por unidad. El segundo proceso tiene costos fijos de $400,000, pero tiene costos variables de solo $200 por unidad.
   a) ¿Cuál es la cantidad que da el punto de equilibrio, más allá de la cual el segundo proceso se vuelve más atractivo que el primero?
   b) Si la venta anual esperada para este producto es 800 unidades, ¿qué proceso elegiría?
3. Baker Machine Company es un taller especializado en partes de precisión para empresas de la industria aeroespacial. La figura 3.13 muestra el plano de bloques actual para los principales centros de manufactura de la instalación de 75,000 pies cuadrados. Vea la siguiente matriz de cercanía y utilice la distancia rectilínea (la distancia actual de la inspección al envío y recepción es tres unidades) para calcular el cambio en la distancia ponderada, *wd*, califique si Baker intercambia los lugares del depósito de herramientas y la inspección.

MATRIZ DE CERCANÍA

	Viajes entre departamentos					
Departamento	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
1. Fresas y molinos	—	8	3		9	5
2. Equipo de control numérico (CN)		—		3		
3. Envío y recepción			—		8	9
4. Tornos y taladros				—		3
5. Depósito de herramientas					—	3
6. Inspección						—

3	4	2
1	5	6

◀ **FIGURA 3.13**
Disposición física actual

4. Baker Machine (vea el problema 3) está considerando dos disposiciones físicas alternativas. Compare las calificaciones *wd* utilizando la distancia rectilínea de los siguientes dos planos de bloques para determinar qué disposición física alternativa es mejor.

3	6	4
5	1	2

◀ **FIGURA 3.13(a)**
Disposición alternativa 1

3	1	4
5	6	2

◀ **FIGURA 3.13(b)**
Disposición alternativa 2

5. La cabeza del grupo de sistemas de información en Conway Consulting debe asignar oficinas para seis nuevos analistas. La siguiente matriz de cercanía muestra la frecuencia esperada de contacto entre analistas. El plano de bloques de la figura 3.14 muestra las oficinas disponibles (1–6) para los seis analistas A–F). Suponga que las oficinas son del mismo tamaño y use la distancia rectilínea.

MATRIZ DE CERCANÍA

	Contactos entre analistas					
Analista	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**
Analista A	—		6			
Analista B		—		12		
Analista C			—	2	7	
Analista D				—		4
Analista E					—	
Analista F						—

1	2	3
4	5	6

◀ **FIGURA 3.14**
Plano de bloques para Conway Consulting

Evalúe las puntuaciones *wd* de las siguientes tres disposiciones alternativas, de nuevo suponiendo una distancia rectilínea; determine cuál es la mejor.

B	C	D
A	E	F

◀ **FIGURA 3.14(a)**
Distribución alternativa 1

C	B	D
A	F	E

◀ **FIGURA 3.14(b)**
Disposición alternativa 2

F	B	D
A	C	E

◀ **FIGURA 3.14(c)**
Disposición alternativa 3

6. Richard Garber es el jefe de diseño para Matthews and Novak Design Company. Le piden a Garber que diseñe la disposición física para un edificio de oficinas recién construido. De las muestras estadísticas de los tres meses anteriores, Garber desarrolló la siguiente matriz de cercanía para los viajes diarios entre las oficinas del departamento

MATRIZ DE CERCANÍA

	Viajes entre departamentos					
Departamento	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**
A	—	25	90			185
B		—			105	
C			—		125	125
D				—	25	
E					—	105
F						—

C	F	A
B	E	D

◀ **FIGURA 3.15**
Plano de bloques alternativo

   a) Si otros factores siguen igual, ¿cuáles dos oficinas deben quedar juntas?
   b) La figura 3.15 muestra una disposición alternativa para el departamento. ¿Cuál es la distancia total ponderada para este plano basada en la distancia rectilínea y suponiendo que las oficinas A y B están a tres unidades de distancia?
   c) Utilice el método de enumeración explícita del software POM para Windows para encontrar el plano de bloques que minimiza la puntuación de distancia ponderada total.
7. Una empresa con cuatro departamentos tiene la siguiente matriz de cercanía y el plano de bloques actual mostrado en la figura 3.16.
   a) ¿Cuál es la puntuación de distancia ponderada para la disposición actual (suponiendo distancia rectilínea)?

MATRIZ DE CERCANÍA

	Viajes entre departamentos			
Departamento	**A**	**B**	**C**	**D**
A	—	12	10	8
B		—	20	6
C			—	0
D				—

A	B
C	D

◀ **FIGURA 3.16**
Plano de bloques actual

   b) Desarrolle una disposición física mejor. ¿Cuál es la puntuación de distancia ponderada total?

8. El departamento de ingeniería en una universidad de Nueva Jersey debe asignar nuevas oficinas a seis académicos. La siguiente matriz de cercanía indica el número esperado de contactos por día entre los profesores. Los espacios de oficinas disponibles (1–6) para los seis académicos se muestran en la figura 3.17. Suponga oficinas del mismo tamaño. La distancia entre las oficinas 1 y 2 (y entre las oficinas 1 y 3) es una unidad, mientras que la distancia entre las oficinas 1 y 4 es dos unidades.

MATRIZ DE CERCANÍA

	Contactos entre los profesores					
Profesor	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**
A	—		4			
B		—		12		10
C			—	2	7	
D				—		4
E					—	
F						—

a) Debido a sus posiciones académicas, debe asignarse la oficina 1 al profesor A, la oficina 2 al profesor C, y la oficina 6 al profesor D. ¿Qué académicos deben asignarse a las oficinas 3, 4 y 5, respectivamente, para minimizar la puntuación de distancia ponderada total (utilizando la distancia rectilínea)?

b) ¿Cuál es la puntuación de la distancia ponderada total de su solución?

1	2
3	4
5	6

◀ **FIGURA 3.17**
Espacio disponible

Ejercicio de modelo activo

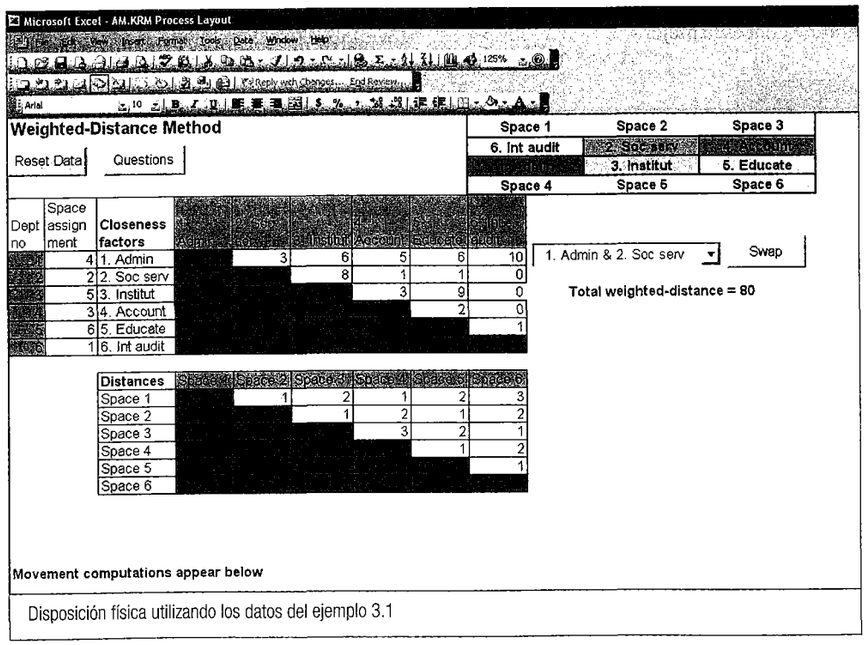
Este modelo activo para el ejemplo 3.1 aparece en MyOMLab. Permite ver los efectos referentes a la realización de intercambios por pares de departamentos.

PREGUNTAS

1. ¿Cuál es la puntuación de distancia ponderada total actual?

2. Utilice el botón de intercambio (*swap*) para hacer un intercambio a la vez. Si el intercambio ayuda, vaya al siguiente par. Si no ayuda, oprima el botón de nuevo para regresar los departamentos. ¿Cuál es la puntuación de distancia ponderada mínima después de todos los intercambios intentados?

3. Observe las dos tablas de datos y utilice la segunda columna para colocar los departamentos en espacios. ¿Qué asignación específica lleva a un costo mínimo?, ¿cuál es este costo?



Disposición física utilizando los datos del ejemplo 3.1

CASO Custom Molds, Inc.

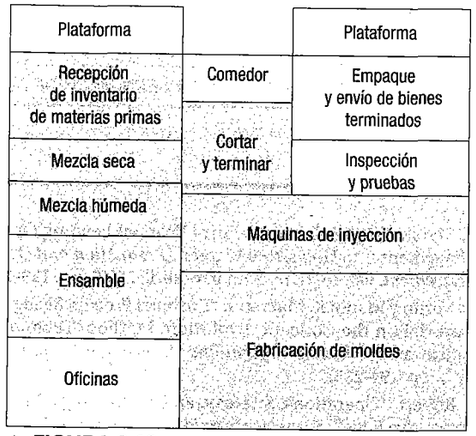
Custom Molds, Inc., fabrica moldes de diseño especial para partes de plástico y produce conectores de plástico hechos a la medida para la industria electrónica. Situada en Tucson, Arizona, Custom Molds fue fundada por padre e hijo, Tom y Mason Miller, en 1987. Tom Miller, un ingeniero mecánico, tenía más de 20 años de experiencia en la industria de conectores con AMP, Inc., un productor multinacional de conectores electrónicos. Mason Miller se graduó de Arizona State University en 1986 con grados en química e ingeniería química.

La compañía originalmente se formó para proporcionar a los fabricantes una fuente de moldes de alta calidad, con diseño personalizado para producir partes de plástico. El mercado consistía en esencia de las divisiones de diseño y desarrollo del producto de esos fabricantes. Custom Molds trabajaba con cada cliente para diseñar y desarrollar los moldes que se usarían en los procesos de desarrollo de producto de los clientes. Así, prácticamente todos los moldes tenían que cumplir estándares de exactitud y eran de alguna manera únicos. Las órdenes para varios moldes llegaban cuando los clientes pasaban del diseño y las corridas piloto de la etapa de desarrollo a la producción en gran escala de las nuevas partes diseñadas.

Al pasar los años, la reputación de Custom Molds creció como diseñador y fabricante de moldes de precisión. Al cimentar esta reputación, los Miller decidieron expandirse a la manufactura limitada de partes de plástico, agregaron instalaciones para mezcla de ingredientes y equipo de inyección de moldes, y para mediados de los 90, Custom Molds extendió su reputación como proveedor de partes de plástico de alta calidad. Debido a la capacidad limitada, la compañía concentró sus esfuerzos de venta en el abastecimiento de partes que se usaban en cantidades limitadas para investigación y desarrollo y en corridas de preproducción.

Procesos de producción

Para la década de 2000, las operaciones en Custom Molds incluían dos procesos distintos: uno para fabricar moldes y otro para producir partes de plástico. Aunque diferentes, en muchos casos estos dos procesos estaban ligados, como cuando un cliente les pedía que fabricaran un molde y produjeran las partes necesarias para apoyar las actividades de investigación y diseño del cliente. Todas las operaciones de manufactura y producción estaban en una sola instalación. La disposición física era característica de un típico taller por pedidos, con procesos parecidos y equipos similares agrupados en varias partes de la planta. La figura 3.18 muestra la disposición física de la planta. Múltiples piezas de varios tipos de maquinaria de alta precisión, incluyendo máquinas de molienda, torneado, corte y taladrado, se encontraban en el área de fabricación de moldes.



▲ **FIGURA 3.18**
Disposición física de planta

Fabricar moldes es un proceso orientado a las habilidades artesanales. Cuando se recibe una orden, un equipo de diseño, formado por un ingeniero en diseño y uno de los 13 maestros maquinistas, revisa las especificaciones. Trabajando de cerca con el cliente, el equipo establece las especificaciones finales para el molde y se las da al maestro maquinista para fabricarlas. Siempre es el mismo maquinista asignado al equipo de diseño. Al mismo tiempo, el departamento de compras recibe una copia de las especificaciones de diseño, de donde ordena las materias primas adecuadas y la herramienta especial. El tiempo necesario para recibir los materiales ordenados suele ser de tres a cuatro semanas. Cuando los materiales para un molde en particular se reciben, el maestro de la planta revisa las cargas de trabajo del maquinista asignado y programa la fabricación del molde.

Fabricar un molde toma de dos a cuatro semanas, dependiendo de la cantidad de trabajo programado que tiene el maquinista. El proceso de fabricación en sí toma solo de tres a cinco días. Al terminar, el molde se envía al área de inspección y pruebas, donde se usa para producir un número pequeño de partes en una de las máquinas de moldes de inyección. Si las partes cumplen las especificaciones de diseño establecidas por el equipo de diseño, el molde pasa a limpieza y pulido. Luego se empaca y envía al cliente. Se tarda un día en inspección y pruebas y otro en la limpieza, empaque y envío al cliente. Si las partes hechas con el molde no cumplen las especificaciones, el molde se regresa al maquinista para corrección y el proceso comienza una vez más. En la actualidad, Custom Molds tiene un tiempo de entrega de nueve semanas para los moldes fabricados a la medida.

El proceso de manufactura para partes de plástico es algo diferente del de los moldes. Puede recibirse una orden de partes en conjunto con una orden para fabricar un molde. En casos en que Custom Molds ya fabricó el molde y lo mantiene en inventario, una orden puede ser solo para partes. Si el molde está disponible, la orden es revisada por un ingeniero de diseño que verifica las especificaciones de la parte y materias primas. Si tiene alguna pregunta, se pone en contacto con el cliente y trabajan en la revisión de las especificaciones y llegan a un acuerdo.

Después de aceptar las especificaciones, se colocan las órdenes para la materia prima y se programa la producción de la orden. Los químicos y compuestos que apoyan la manufactura de las partes de plástico en general se ordenan y reciben en una semana. Al recibirlas, primero se combinan y mezclan los compuestos para lograr la composición correcta. Luego, la mezcla se homogeniza en húmedo hasta obtener la consistencia deseada (llamada *lodo*) para la inyección en las máquinas de moldeo. Cuando está listo, el lodo se transfiere a tanques adyacentes a las máquinas de inyección. Todo el proceso de mezcla toma un día.

Cuando el lodo está organizado y listo, se aseguran los moldes adecuados (del inventario o de una operación de limpieza y pulido si son moldes nuevos fabricados para la orden) y se fabrican las partes. Aunque las partes diferentes requieren temperaturas y presión distintas, el tiempo para producir una parte es relativamente constante. Custom Molds tiene una capacidad de producir 5,000 partes por día en el departamento de moldeo por inyección; sin embargo, históricamente el tiempo de entrega para manejar las órdenes en este departamento tiene un promedio de una semana. Después de terminar el moldeo, las partes se llevan a corte y terminado, donde se desconectan y se eliminan los sobrantes. Después de inspeccionarlas, tal vez las partes se lleven a ensamble o se transfieran al área de empaque y envío para hacerlas llegar al cliente. Si no se requiere el ensamble final, las partes pueden enviarse al cliente dos días después del moldeo.

Algunas veces, el producto final requiere cierto ensamble. En general, esto implica fijar conductores metálicos a los conectores de plástico. Si es necesario el ensamble, se requieren tres días adicionales antes de poder enviar la orden. Custom Molds actualmente estima un tiempo de entrega de tres semanas para partes que no requieren que el molde se fabrique.

El entorno cambiante

A principios de 2009, Tom y Mason Miller comenzaron a darse cuenta de que la industria electrónica a la que surtían, junto con su propio negocio, estaba cambiando. Los fabricantes de electrónica por tradición fabricaban sus propios componentes para reducir costos y asegurar un abastecimiento oportuno de las partes. En la década de los 90 esta tendencia había cambiado. Los fabricantes estaban desarrollando sociedades estratégicas con los proveedores de partes para asegurar la entrega a tiempo de alta calidad y efectiva en costos. Este enfoque les permitía tener fondos para otros usos que podían proporcionar un retorno sobre la inversión mayor.

El impacto sobre Custom Molds se podía ver en las cifras de ventas en los últimos tres años. La mezcla de ventas estaba cambiando. Aunque el número de órdenes por año para la fabricación de moldes seguía casi constante, las órdenes de moldes múltiples estaban declinando, como se muestra en la siguiente tabla:

	NÚMERO DE ÓRDENES		
Tamaño de la orden	**Moldes 2006**	**Moldes 2007**	**Moldes 2008**
1	80	74	72
2	60	70	75
3	40	51	55
4	5	6	5
5	3	5	4
6	4	8	5
7	2	0	1
8	10	6	4
9	11	8	5
10	15	10	5
Total de órdenes	230	238	231

Lo inverso es válido para las partes de plástico, para las que el número de órdenes por año había declinado, pero los tamaños de las órdenes se volvían más grandes, como se ilustra en la siguiente tabla:

	NÚMERO DE ÓRDENES		
Tamaño de la orden	**Moldes 2006**	**Moldes 2007**	**Moldes 2008**
50	100	93	70
100	70	72	65
150	40	30	35
200	36	34	38
250	25	27	25
500	10	12	14
750	1	3	5
1,000	2	2	8
3,000	1	4	9
5,000	1	3	8
Total de órdenes	286	280	277

Durante el mismo periodo, Custom Molds comenzó a tener problemas de entrega. Los clientes se quejaban de que las órdenes tomaran cuatro o cinco semanas en lugar de las tres semanas establecidas y de que los retrasos interrumpían sus programas de producción. Cuando preguntaron sobre la situación, el maestro de la planta dijo que era difícil determinar cuándo una orden en particular podía prometerse para entrega. Los cuellos de botella ocurrían durante el proceso de producción, pero no podía predecirse dónde o cuándo ocurrirían. Los cuellos de botella parecían moverse de una operación a otra.

Tom Miller pensó que tenía exceso de capacidad de mano de obra en el área de fabricación de moldes. Entonces, para ayudar a sacar las órdenes que estaban atrasadas, asignó a uno de los maestros maquinistas la tarea de identificar y acelerar esas órdenes atrasadas. Sin embargo, la táctica pareció no ayudar mucho. Las quejas de las entregas tarde seguían llegando. Para sumar problemas, dos órdenes se habían regresado recientemente por el número de partes defectuosas. Los Miller sabían que tenían que hacer algo. La pregunta era: ¿qué?

PREGUNTAS

1. ¿Cuáles son los problemas más importantes que enfrentan Tom y Mason Miller?
2. ¿Cuáles son las prioridades competitivas para los procesos de Custom Molds y la naturaleza del cambio en la industria?
3. ¿Qué alternativas pueden buscar los Miller? ¿Qué factores clave deben considerar cuando evalúen las alternativas?

Fuente: Este caso fue preparado por el doctor Brooke Saladin, de Wake Forest University, como base para discusión en clase. Copyright © Brooke Saladin. Utilizado con permiso.

Referencias seleccionadas

Brink, Harold; Senthiah y Rajan Naik. "A Better Way to Automate Service Operations". *McKinsey on Business Technology*, núm. 20 (verano, 2010), pp. 1-10.

Baghai, Ramin, Edward H. Levine y Saumya S. Sutaria. "Service-Line Strategies for US Hospitals". *The McKinsey Quarterly* (julio, 2008), pp. 1-9.

Booth, Alan. "The Management of Technical Change: Automation in the UK and USA since 1950". *The Economic History Review*, vol. 62, núm. 2 (mayo, 2009), pp. 493-494.

Chase, Richard B. y Uday M. Apte. "A History of Research in Service Operations: What's the Big Idea?" *Journal of Operations Management*, vol. 25 (2007), pp. 375-386.

Fisher, Marshall L. "Bob Hayes: Forty Years of Leading Operations Management into Uncharted Waters". *Production and Operations Management*, vol. 16, núm. 2 (marzo-abril, 2007), pp. 159-168.

Grover, Varun y Manoj K. Malhotra. "Business Process Reengineering: A Tutorial on the Concept, Evolution, Method, Technology, an Application". *Journal of Operations Management*, vol. 15, núm. 3 (1997), pp. 194-213.

Hayes, Robert. "Operations, Strategy, and Technology: Pursuing the Competitive Edge". *Strategic Direction*, vol. 22, núm. 7 (2006).

Johansson, Pontus y Jan Olhger. "Linking Product-Process Matrices for Manufacturing and Industrial Service Operations". *International Journal of Production Economics*, vol. 104 (2006), pp. 615-624.

Hammer, Michael. "Deep Change: How Operational Innovation Can Transform Your Company". *Harvard Business Review*, vol. 82, núm. 4 (abril, 2004), pp. 85-93.

Hill, Terry. *Manufacturing Strategy: Text and Cases*, 3a ed., Homewood, IL: Irwin/McGraw-Hill, 2000.

Jack, Eric, y John Collis. "Strengthen and Tone: A Flexible Approach to Operations Can Build Some Serious Muscle". *APICS Magazine* (junio, 2006), pp. 35-38.

Kung, Peter y Claus Hagen. "The Fruits of Business Process Management: An Experience Report from a Swiss Bank". *Business Process Management Journal*, vol. 13, núm. 4 (2007), pp. 477-487.

Malhotra, Manoj K. y Larry P. Ritzman. "Resource Flexibility Issues in Multistage Manufacturing". *Decision Sciences*, vol. 21, núm. 4 (1990), pp. 673-690.

Metters, Richard, Kathryn King-Metters y Madeleine Pullman. *Successful Service Operations Management*. Mason, OH: South-Western, 2003.

Prajogo, Daniel. "The Implementation of Operations Management Techniques in Service Organizations". *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 26, núm. 12 (2006), pp. 1374-1390.

Rayport, Jeffrey F. y Bernard J. Jaworski. "Best Face Forward". *Harvard Business Review*, vol. 82, núm. 12 (2003), pp. 47-58.

Safizadeh, M. Hossein, Joy M. Field y Larry P. Ritzman. "An Empirical Analysis of Financial Services Processes with a Front-Office or Back-Office Orientation". *Journal of Operations Management*, vol. 21, núm. 5 (2003), pp. 557-576.

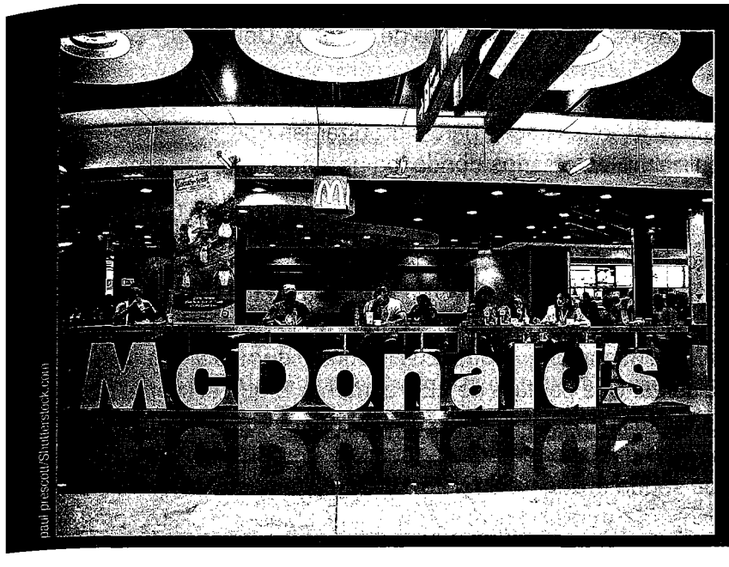
Safizadeh, M. Hossein, Larry P. Ritzman y Debasish Mallick. "Revisiting Alternative Theoretical Paradigms in Manufacturing". *Production and Operations Management*, vol. 9, núm. 2 (2000), pp. 111-127.

Sehgal, Sanjay, B.S. Sahay y S.K. Goyal. "Reengineering the Supply Chain in a Paint Company". *International Journal of Productivity and Performance Management*, vol. 55, núm. 8 (2006), pp. 655-670.

Skinner, Wickham. "Operations Technology: Blind Spot in Strategic Management". *Interfaces*, vol. 14 (enero-febrero, 1984), pp. 116-125.

Swink, Morgan y Anand Nair. "Capturing the Competitive Advantages of AMT: Design-Manufacturing Integration as a Complementary Asset". *Journal of Operations Management*, vol. 25 (2007), pp. 736-754.

Zomerdijk, Leonieke G. y Jan de Vries. "Structuring Front Office and Back Office Work in Service Delivery Systems". *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 27, núm. 1 (2007), pp. 108-131.



4

ANÁLISIS DE PROCESOS

McDonald's busca continuamente maneras de optimizar sus procesos para proporcionar mejor calidad a menor costo, con recursos más sustentables. Este esfuerzo, combinado con opciones innovadoras de menú, ha tenido sus recompensas. En septiembre de 2011 entregó su centésimo mes de ventas globales positivas comparables. Las ventas subieron 3.9% en Estados Unidos y 2.7% en Europa.

McDonald's Corporation

Los ingresos del sistema McDonald's (restaurantes operados por la compañía y en franquicia) alcanzaron un alto récord de $24 mil millones en 2010. Tiene más de 32,000 restaurantes alrededor del mundo y 62 millones de clientes los visitan cada día. Emplea a 1.7 millones de personas en el mundo. En octubre de 2011 el precio de sus acciones era $89.94. Las cosas no andaban tan bien en 2002, cuando las quejas de los clientes eran más frecuentes y amargas. Al final de 2002 el precio de las acciones era solo de $16.08. McDonald's ahora está escuchando a los clientes de nuevo y cambia sus procesos para reflejarlo. El consejo directivo trajo a un nuevo director ejecutivo (CEO) que había pasado 20 años en el lado operativo del negocio. Con un celo por medir la satisfacción de los clientes y compartir los datos libremente con los operarios, logró un cambio que admiró a todos en el negocio por su velocidad y alcance.

Se lanzaron iniciativas para recolectar medidas de desempeño y modernizar los procesos de McDonald's para cumplir con las expectativas de los clientes. McDonald's envía compradores misteriosos a los restaurantes para realizar entrevistas anónimas, usando un sistema de puntuaciones numéricas. Los misteriosos comensales, de empresas encuestadoras, llenan una lista de verificación respecto a la velocidad del servicio, la temperatura de la comida, presentación y sabor, limpieza del mostrador, mesas e islas de condimentos, incluso, si la persona en la caja sonríe al cliente. Los resultados, recopilados en un lapso de seis meses a un año a la fecha, se publican en una página interna de Internet de McDonald's para que los dueños pudieran comparar sus puntuaciones con los promedios regionales. Ahora los operarios pueden señalar problemas persistentes y las medidas de desempeño se enfocan en los cambios

de procesos necesarios. Además, en la actualidad se anima a los clientes a reportar su experiencia en cualquier restaurante de Estados Unidos por correo electrónico, correo postal o llamadas sin costo.

Otra iniciativa fue enviar a 900 misioneros de operaciones al campo; cada uno visitó los restaurantes muchas veces para sintonizar las operaciones al mismo tiempo que realizaban seminarios donde los gerentes podían compartir sugerencias de los gurús de la cocina corporativa —como dónde colocar al personal— que quitaría unos segundos de los tiempos de servicio promedio. El proceso se regresó a tostar el pan en lugar de calentarlo en el microondas, lo que le da un sabor caramelizado más dulce. Otra iniciativa se tomó en el carril de servicio al automóvil. Incluso seis segundos menos en la espera agregan un punto porcentual al crecimiento en ventas. Los menús externos ahora tienen más fotos y menos palabras. Una pantalla de LED confirma lo que el cliente dice, reduciéndose posibles confusiones. Los sandwiches premium se colocan en caja y no en envoltura de papel, lo que ahorra unos segundos y los colores de las cajas están codificados según el sandwich para mejorar la velocidad y precisión.

También los procesos se cambiaron para ser más amigables con el ambiente, regresando desde el mostrador a su cadena de suministro. El menú en Estados Unidos incluye 330 diseños de empaque diferentes, 83% de ellos ahora se hacen con papel o algún otro material de fibra de madera. El sistema de entrega de aceite de cocina a granel utiliza contenedores reusables, con lo que se eliminan más de 1,500 libras de desperdicio de empaque por restaurante por año. Por su compromiso con el uso de recursos sustentables está trabajando con sus proveedores para mejorar el recubrimiento en los empaques de comida. Ha cambiado más de 18,000 toneladas métricas de pescado para quitarlas de fuentes no sustentables en los últimos cinco años, y destaca la reutilización y el reciclaje, el ahorro de energía eléctrica y el uso eficiente del agua. También busca fuentes sustentables certificadas para sus alimentos; por ejemplo, tiene un proyecto piloto a tres años para estudiar ranchos de reses con el fin de investigar las emisiones de carbón en 350 de ellos.

En suma, las medidas de desempeño y el análisis de procesos están agregando valor para el cliente y en última instancia dando buenos resultados.

Fuente: Daniel Kruger, "You Want Data with That?" *Forbes*, vol. 173, núm. 6 (marzo, 2004), pp. 58-60; **http://www.mcdonalds.com**, 5 de abril, 2011.

METAS DE APRENDIZAJE *Después de estudiar este capítulo, usted será capaz de:*

1. Explicar una forma sistemática para analizar procesos.
2. Definir diagramas de flujo, diagramas de flujo en carriles, planos de servicios y diagramas de proceso.
3. Describir las diferentes técnicas de medición del trabajo.
4. Identificar las métricas para la evaluación de procesos.
5. Describir gráficas de Pareto, diagramas de causa-efecto y simulación del proceso.
6. Crear mejores procesos usando puntos de comparación.
7. Identificar claves para la administración efectiva de procesos.

Los procesos son quizás el aspecto que menos se comprende y maneja de un negocio. No importa qué tan talentosas sean ni qué tan motivadas estén las personas, una empresa no puede lograr una ventaja competitiva con procesos que fallan. Como dijo Mark Twain del río Mississippi, "un proceso solo sigue rodando, con una gran diferencia". La mayor parte de los procesos mejoraría si alguien piensa en una manera y la pone en práctica de forma efectiva. Sin duda, las compañías adaptan sus procesos según las necesidades cambiantes de los clientes o dejan de existir. El éxito a largo plazo viene de administradores y empleados que realmente comprenden su negocio. Pero con demasiada frecuencia, los esfuerzos altamente publicitados que parecen ofrecer soluciones de arreglo rápido no logran, a la larga, cubrir las expectativas, sean programas para conceptualizar la visión de un negocio, realizar una campaña de transformación de la cultura o proporcionar capacitación de liderazgo.

Dentro de la administración de operaciones en campo, muchas innovaciones importantes en las últimas décadas incluyen simplificación del trabajo o programas de métodos mejores, control estadístico de procesos, técnicas de optimización, técnicas de pronóstico estadístico, planeación de requerimiento de materiales, automatización flexible, manufactura esbelta, administración total de la calidad, reingeniería, Programas Sigma Six, planeación de recursos de la empresa y comercio electrónico. Cubrimos estos enfoques importantes en los siguientes capítulos porque pueden, de manera significativa, agregar valor para clientes a un proceso. Sin embargo, se estudian mejor como parte de un sistema total para la administración efectiva de los procesos de trabajo, y no como remedio para todo.

Por supuesto, el análisis de procesos es necesario tanto para reingeniería como para la mejora del proceso, pero también es parte del monitoreo del desempeño en el tiempo. En este capítulo comenzamos con un enfoque sistemático para analizar un proceso que identifica las oportunidades de mejora, documenta el proceso actual, evalúa el proceso para detectar fallas de desempeño, rediseña el proceso para eliminar las fallas y pone en marcha los cambios deseados. La meta es el mejoramiento continuo.

Cuatro técnicas de apoyo —**1.** diagramas de flujo, **2.** planos de servicio, **3.** técnicas de medición del trabajo y **4.** diagramas de procesos— pueden dar una buena visión del proceso actual y los cambios propuestos. Las herramientas de análisis de datos, como listas de verificación, gráficas de barras, gráficas de Pareto y diagramas causa-efecto permiten al analista ir de los síntomas del problema a la raíz de las causas. La simulación es una técnica más avanzada para evaluar el desempeño de un proceso. Concluimos con algunas de las claves para administrar los procesos con efectividad, para asegurar que los cambios están en marcha y que se establezca una infraestructura para el mejoramiento continuo. Pero el análisis de procesos se extiende más allá del análisis de los procesos individuales, también es una herramienta para mejorar la operación de las cadenas de suministro.

Creación de valor mediante la administración de operaciones

↓

Utilización de las operaciones para competir

Administración de proyectos

Administración de procesos

↓

Estrategia de procesos

Análisis de procesos

Calidad y desempeño

Administración de restricciones

Planeación de la capacidad

Sistemas esbeltos

Administración de la cadena de suministro

↓

Administración del inventario de la cadena de suministro

Diseño de la cadena de suministro

Decisiones de localización de la cadena de suministro

Integración de la cadena de suministro

Sustentabilidad de la cadena de suministro y logística humanitaria

Pronósticos

Planeación y programación de las operaciones

Planeación de recursos

Análisis de procesos en toda la organización

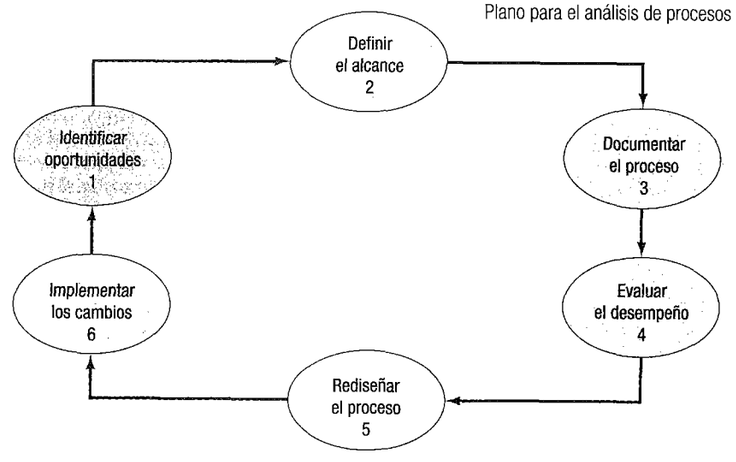
Todas las partes de una organización necesitan preocuparse por el análisis de procesos, simplemente porque ellos hacen el trabajo y el análisis de procesos se enfoca en cómo se hace el trabajo en realidad. ¿Están dando el mayor valor a sus clientes (internos o externos) o pueden mejorar? Los departamentos de operaciones y ventas muchas veces son las primeras áreas que vienen a la mente porque están conectados muy de cerca con los procesos centrales. Sin embargo, los procesos de apoyo en contabilidad, finanzas y recursos humanos también son cruciales para el éxito de una organización. La alta administración también participa, como lo hacen otros departamentos. Durante este pasar la "batuta", las desconexiones son casi siempre las peores y las oportunidades de mejoramiento las más elevadas.

Enfoque sistemático

La figura 4.1 muestra un plano de seis pasos para el análisis del proceso. El **análisis del proceso** es la documentación y comprensión detallada del desempeño del trabajo y cómo rediseñarlo. El análisis del proceso comienza identificando una nueva oportunidad de mejora y termina con la implantación del proceso revisado. El último paso regresa al primero, con lo que se crea un ciclo de mejora continua. Introducimos un modelo relacionado en el capítulo 5, "Calidad y desempeño", como parte del modelo de Mejoramiento Six Sigma (DMAIC). Otros enfoques para la mejora de procesos son reingeniería en el capítulo 3, "Estrategia de procesos" y el mapeo de la corriente de valor (*value stream mapping*) y otras técnicas del capítulo 8, "Sistemas esbeltos". Evitamos traslapes al cubrir cada técnica solo una vez, al tiempo que se resalta la esencia del enfoque cubierto en cada capítulo. Los capítulos tienen en sí una meta compartida: mejorar los procesos.

análisis del proceso
Documentación y comprensión detallada de cómo se realiza el trabajo y cómo puede rediseñarse.

▼ **FIGURA 4.1**
Plano para el análisis de procesos



Paso 1: identificar oportunidades

Con el fin de identificar oportunidades, los administradores deben poner particular atención en los cuatro procesos centrales: **1.** relación con el proveedor, **2.** desarrollo de nuevo servicio/producto, **3.** satisfacción de órdenes y **4.** relación con el cliente. Cada uno de estos procesos, y los subprocesos anidados en ellos, están involucrados en la entrega de valor a los clientes externos. ¿Todos los consumidores actuales están satisfechos con los servicios o productos que reciben, o hay lugar para mejorarlos? ¿Y los clientes internos? La satisfacción

del cliente debe monitorearse periódicamente, ya sea con un sistema formal de medidas (o métricas) o con verificaciones o estudios informales. Los administradores algunas veces desarrollan un inventario de sus procesos centrales y de apoyo que sirve de guía para ver cuáles necesitan escrutinio.

Otra manera de identificar oportunidades es revisar los aspectos estratégicos. ¿Existen diferencias entre las prioridades competitivas de un proceso y sus capacidades competitivas actuales, como se encontró en la evaluación de la estrategia de operaciones en una división de tarjetas de crédito en el capítulo 1, "Uso de las operaciones para competir"? ¿Las medidas múltiples de costo, calidad superior, calidad uniforme, velocidad de entrega y entrega a tiempo cumplen o exceden las expectativas? ¿Hay un buen *ajuste estratégico* en el proceso? Si el proceso proporciona un servicio, ¿su posición en la matriz cliente-contacto (vea la figura 3.2) parece adecuada? ¿Qué tan bien se ajustan el grado de contacto con el cliente y la estructura del proceso, la participación del este, la flexibilidad de recursos y la intensidad de capital (vea la figura 3.8)? Deben hacerse preguntas similares acerca de los procesos de manufactura respecto al ajuste estratégico entre la opción del proceso, el volumen y la personalización del producto (vea la figura 3.10).

Debe impulsarse a los empleados que actualmente realizan el proceso o los proveedores internos o los clientes para que traigan sus ideas a los administradores y los especialistas en personal (como los ingenieros industriales) o tal vez a que pasen sus ideas mediante un sistema formal de sugerencias. Un **sistema de sugerencias** es un sistema voluntario en el que los empleados presentan sus ideas sobre mejoras al proceso. Es usual que un especialista evalúe las propuestas, se asegure de que las sugerencias valiosas se pongan en práctica y proporcione retroalimentación a quienes hicieron las sugerencias. Algunas veces, la persona o el equipo que propone una buena propuesta recibe una compensación en dinero o reconocimiento especial.

sistema de sugerencias
Sistema voluntario en el que los empleados entregan sus ideas sobre la mejora de un proceso.

Paso 2: definir el alcance

El paso 2 establece las fronteras del proceso que se analiza. ¿Se trata de un proceso amplio que se extiende a toda la organización, e incluye muchos pasos y muchos empleados, o un subproceso anidado menos amplio que es solo parte del trabajo de una persona? El alcance de un proceso puede ser demasiado estrecho o demasiado amplio. Por ejemplo, un proceso ampliamente definido que sobrepasa los recursos disponibles —algunas veces se habla de él como "tratar de hervir el mar"—, está condenado porque aumentará la frustración de los empleados sin producir resultados.

Los recursos que la administración asigna a mejorar un proceso o a su reingeniería deben coincidir con el alcance de este. En procesos anidados pequeños con un solo empleado, quizá se pide al empleado que rediseñe el proceso. En un proyecto que maneja un proceso central importante, los administradores suelen establecer uno o más equipos. Un **equipo de diseño** consiste en individuos experimentados con orientación al equipo que trabajan en uno o más pasos del proceso, realizan el análisis del proceso y hacen los cambios necesarios. Otros recursos pueden ser especialistas de tiempo completo llamados *facilitadores* internos o externos. Los facilitadores conocen la metodología del análisis de procesos y guían y capacitan al equipo de diseño. Si el proceso abarca varios departamentos, se beneficiaría con un *equipo directivo* de varios administradores de diferentes departamentos encabezados por un administrador del proyecto que supervisa el análisis del proceso.

equipo de diseño
Grupo de individuos experimentados, orientados al equipo, que trabajan en uno o más pasos del proceso, realizan el análisis del proceso y hacen los cambios necesarios.

Paso 3: documentar el proceso

Una vez establecido el alcance, el analista debe documentar el proceso. La documentación incluye hacer una lista de entradas del proceso, proveedores (internos o externos), salidas y clientes (internos o externos). Esta información puede entonces mostrarse como un diagrama, con un desglose más detallado en una tabla.

La siguiente parte de la documentación es comprender los pasos que se realizan en el proceso, utilizando uno o más de los diagramas, tablas y gráficas descritas más adelante en este capítulo. Cuando se desglosa el proceso en pasos, el analista observa los grados y tipos de contacto con el cliente y la divergencia en todos los pasos del proceso. El analista también observa qué pasos son visibles para los clientes y en qué parte del proceso se pasa el trabajo de un departamento a otro.

Paso 4: evaluar el desempeño

Es importante tener buenas medidas de desempeño para evaluar un proceso buscando ideas de cómo mejorarlo. Las **métricas** son mediciones de desempeño para el proceso y los pasos dentro de él. Un buen lugar para comenzar son las prioridades competitivas, pero deben ser específicas. El analista crea múltiples medidas de calidad, satisfacción del cliente, seguridad, medidas ambientales, entrega a tiempo, flexibilidad y cosas por el estilo.

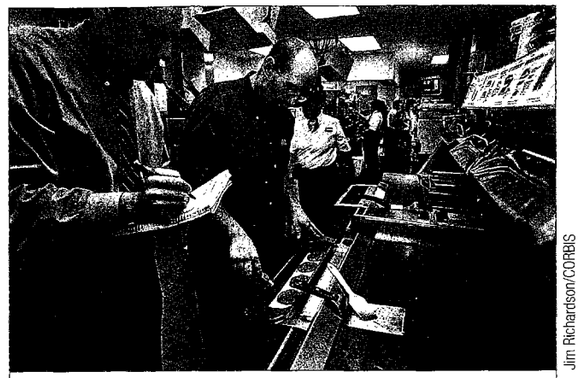
Una vez definida la métrica, es tiempo de recolectar información del desempeño en cada una. La medición puede ser una estimación burda o bastante extensa. Las técnicas para analizar tiempo de espera y retrasos pueden proporcionar información importante (vea el suplemento B, "Líneas de espera" del libro y el suplemento E, "Simulación" de MyOMLab). Las técnicas de medición del trabajo también son más extensas y se introducen en una sección posterior de este capítulo.

métricas
Mediciones del desempeño que se establecen para un proceso y los pasos que contiene.

Paso 5: rediseñar el proceso

Un análisis cuidadoso del proceso y su desempeño en la métrica seleccionada debe descubrir las *desconexiones* o diferencias entre el desempeño real y el deseado. La causa de las diferencias de desempeño pueden ser pasos ilógicos, faltantes o extraños. Quizá la métrica refuerce la mentalidad de exclusividad de los departamentos cuando el proceso abarca varios de ellos. El analista o equipo de diseño debe averiguar para encontrar la raíz de las discrepancias en el desempeño.

Utilizando el pensamiento analítico y creativo, el equipo de diseño genera una larga lista de ideas para mejorar. Estas ideas se filtran y analizan. Las ideas que se justifican, donde los beneficios pesan más que los costos, se reflejan en el nuevo diseño del proceso. El nuevo diseño debe estar documentado como "propuesto". Al combinar el nuevo diseño con la documentación del proceso actual, el analista obtiene un panorama claro de antes y después. La nueva documentación debe aclarar cómo trabajará el proceso revisado y el desempeño esperado para las diferentes métricas.



Jim Richardson/CORBIS

McDonald's utiliza compradores misteriosos para evaluar sus tiendas. También envía "emisarios" de sus operaciones a sus restaurantes para ayudar a los administradores a sintonizar sus procesos, al tiempo que revisa los procesos y la cadena de suministro para que sean más amigables con el ambiente.

Paso 6: implementar los cambios

La implementación es algo más que desarrollar un plan y llevarlo a cabo. Muchos procesos se rediseñan en forma efectiva, pero nunca se ponen en práctica. Las personas se resisten al cambio: "Ya lo hacíamos así" o "ya intentamos eso antes". La participación amplia en el análisis del proceso es esencial, no solo por el trabajo que implica, sino también porque crea compromiso. Es mucho más sencillo implementar algo que, en parte, es idea propia. Además, puede necesitarse experiencia especial, como en el caso de desarrollar software. Tal vez se necesiten tareas y habilidades nuevas que incluyan capacitación e investigación de las nuevas tecnologías. La implantación le da vida a los pasos necesarios para que el rediseño del proceso se ponga en marcha. La administración o el comité del proyecto debe asegurarse de que el proyecto de implantación se realiza de acuerdo con lo programado.

En el resto de este capítulo, examinaremos en detalle los pasos del análisis de procesos.

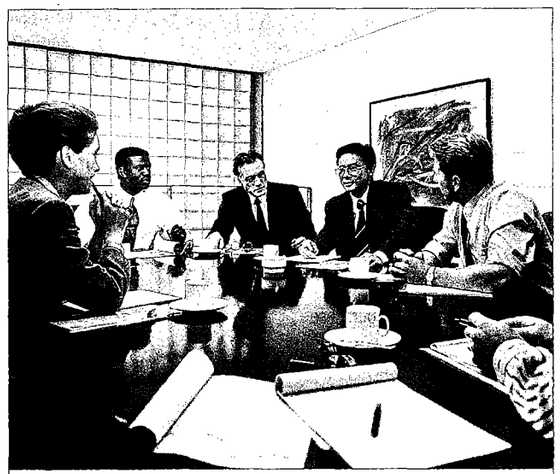
Documentación del proceso

Cinco técnicas son efectivas para documentar y evaluar procesos: **1.** diagramas de flujo, **2.** diagramas de flujo en carriles, **3.** planos de servicio, **4.** técnicas de medición del trabajo y **5.**diagramas de proceso. Nos permiten "levantar la tapa y husmear dentro" para observar cómo hace su trabajo una organización. Puede ver cómo opera un proceso con cualquier nivel de detalle y qué tan bueno es su desempeño. Tratar de crear uno de estos diagramas incluso revelaría quizás una falta de proceso establecido. Tal vez no sea una imagen bonita, pero es la forma en que el trabajo se hace en realidad. Las técnicas para documentar el proceso llevan por sí mismas a encontrar fallas de desempeño que generan ideas para mejorarlo y documentar la apariencia de un proceso rediseñado.

diagrama de flujo
Diagrama que traza el flujo de información, clientes, equipo o materiales a través de los pasos de un proceso.

Diagramas de flujo

Un **diagrama de flujo** rastrea el flujo de información, clientes, equipo o materiales a través de los diferentes pasos de un proceso. Los diagramas de flujo también se conocen como mapeos de proceso, mapa de relaciones o planos. Los diagramas de flujo no tienen un formato preciso y suelen dibujarse con cuadros (con una breve descripción del paso que se realiza), líneas y flechas para mostrar la secuencia. La forma de rectángulo (□) es la elección usual para un paso, aunque otras formas (○, ⬭, ◇, ▽, o ▱) pueden diferenciar entre los distintos tipos de pasos (como operación, retraso, almacenaje, inspección y otros). Los colores y sombreados también llaman la atención de diferentes tipos de pasos, como los que tienen una divergencia del proceso particularmente alta. Las divergencias también se comunican cuando una flecha



Frank Herholdt/Stone/Getty Images

Un consultor discute la propuesta para un nuevo programa de desarrollo organizacional con los clientes durante una reunión de seguimiento. La utilización de diagramas de flujo ayuda a entender este paso como parte del proceso de ventas global para una compañía consultora.

que sale de un paso se separa en dos o más flechas que llevan a diferentes cuadros. Aunque muchas representaciones son aceptables, debe haber un acuerdo en las convenciones utilizadas. Pueden darse como un código en algún lado del diagrama y describirse en un texto adjunto. También es importante comunicar *qué* se está siguiendo (información, órdenes de clientes, clientes, materiales, etcétera).

Es posible crear diagramas de flujo con varios programas. Microsoft PowerPoint ofrece muchos formatos distintos para los diagramas de flujo (vea el submenú Diagramas debajo de autoformas). Los tutores "Flowcharting in Excel" y "Flowcharting in PowerPoint" de MyOMLab ofrecen otras opciones y las demostraciones de los diagramas en las figuras 4.2 y 4.3 son instructivas. Otros paquetes de software poderosos para dibujar diagramas (como organigramas y árboles de decisiones) son SmartDraw (**www.samrtdraw.com**), Microsoft Visio (**www.mocrosoft.com/office/visio**) y Micrografx (**www.micrografx.com**). Con frecuencia se dispone de descargas gratis de prueba en estos sitios.

MyOMLab

Los diagramas de flujo se crean para varios niveles de la organización. Por ejemplo, a nivel estratégico, mostrarían los procesos centrales y sus relaciones, como en la figura 1.4. En este nivel, los diagramas de flujo no tienen mucho detalle; sin embargo, dan un panorama global del negocio. Solo identificar los procesos centrales es útil. Ahora estudiaremos el nivel de procesos, donde podemos entrar en detalles del proceso que se está analizando. La figura 4.2 muestra uno de esos procesos, que consisten en muchos pasos que tienen subprocesos anidados. En lugar de representar

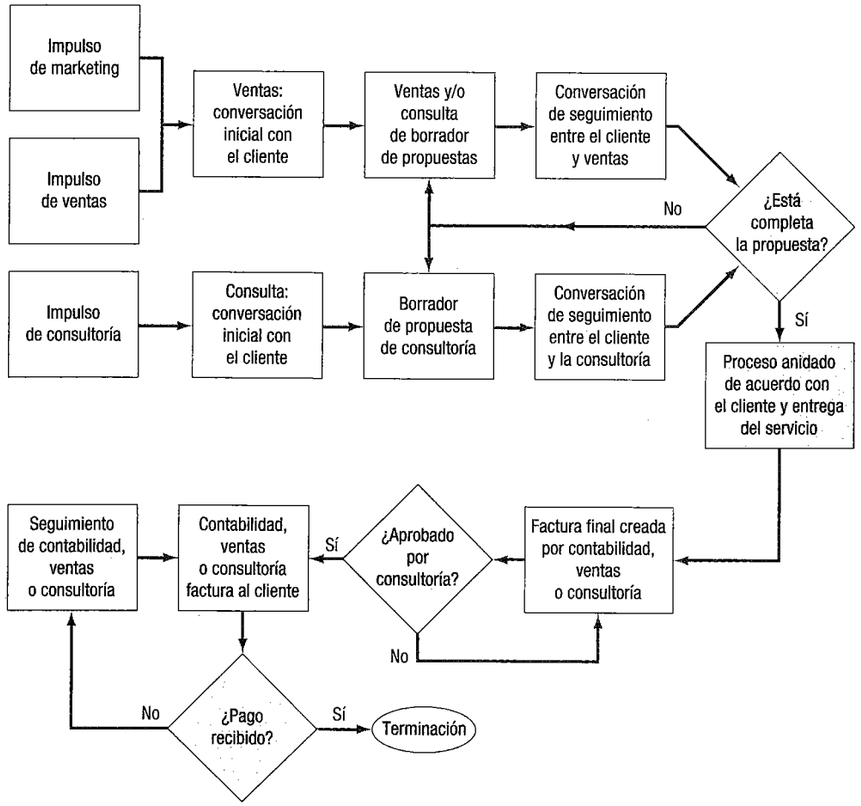
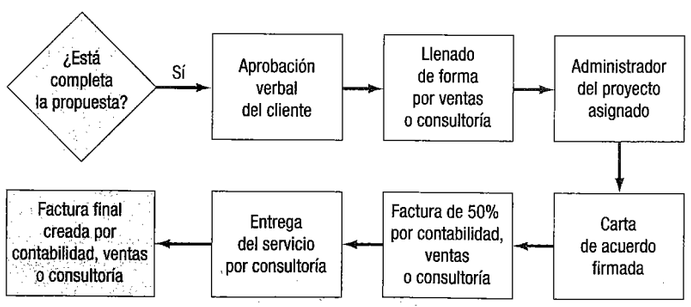


FIGURA 4.2 ▶
Diagrama de flujo del proceso de ventas para una compañía de consultoría

FIGURA 4.3 ▶
Diagrama de flujo del subproceso anidado en el acuerdo con el cliente y el servicio de entrega



todo en un diagrama de flujo, la figura 4.2 presenta un panorama de todo el proceso. Describe el proceso de ventas para una empresa de consultoría que se especializa en procesos de desarrollo organizacional y educación corporativa. Cuatro departamentos diferentes (contabilidad, consultoría, marketing y ventas) interactúan con el cliente externo (cliente). El proceso tiene tres etapas principales: **1.** generar impulsos de negocios, **2.** acuerdo con el cliente y **3.** facturación y cobro.

La figura 4.2 ilustra otra característica. La forma de diamante (◇)representa una decisión o resultado de sí/no, como el resultado de una inspección o el reconocimiento de diferentes tipos de requerimientos del cliente. En la figura 4.2, el diamante representa tres puntos de decisión sí/no: **1.** si la propuesta está completa, **2.** si consultoría aprueba la factura y **3.** si se ha recibido el pago. Es más probable que estos puntos de decisión sí/no aparezcan cuando el proceso tiene una alta divergencia.

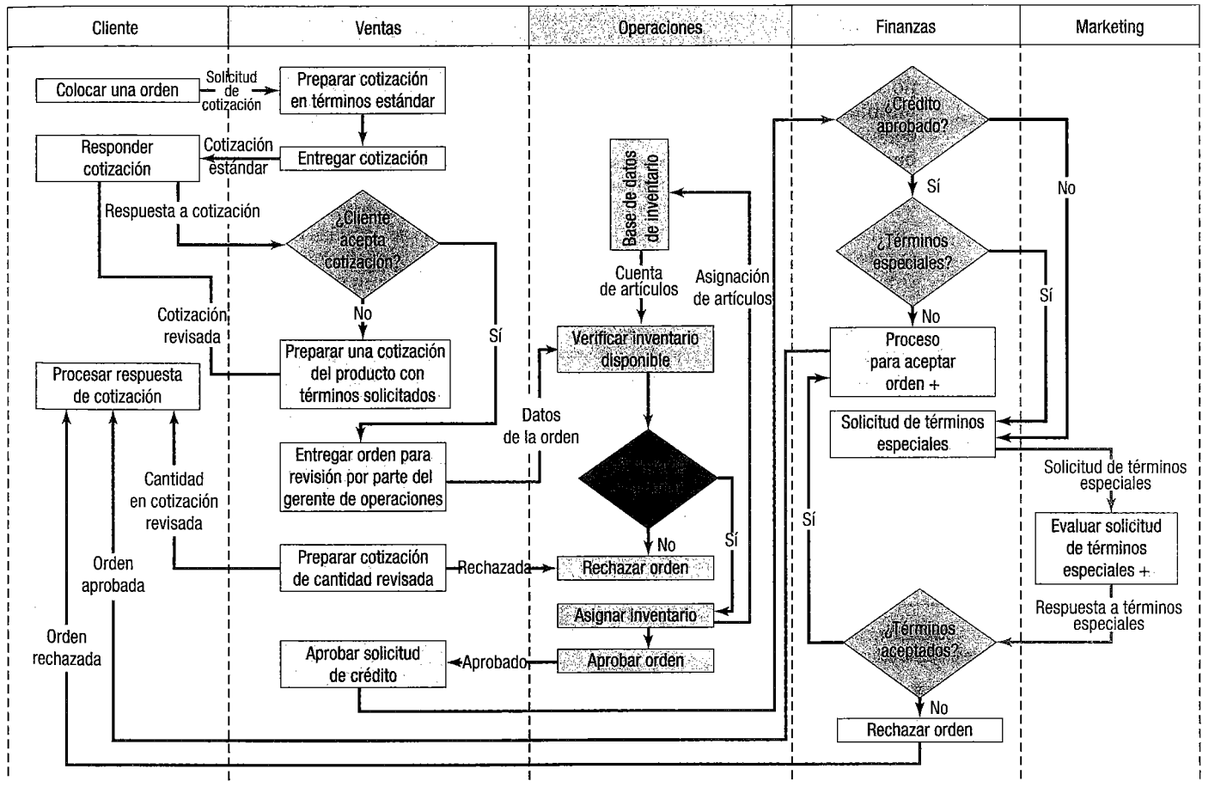
Algunas veces es imposible poner el diagrama completo en una página. Las figuras 4.2 y 4.3 muestran cómo crear procesos anidados para pasos que pueden estar agregados. Por ejemplo, en la figura 4.3 se diagrama un proceso anidado dentro del paso de acuerdo con el cliente y entrega del servicio en la figura 4.2. La figura 4.3 desglosa los detalles, como el hecho de facturar al cliente 50% del costo total estimado del servicio antes de entregarlo y posteriormente enviar la factura definitiva cuando el servicio esté terminado. Este enfoque de anidar a menudo se convierte en una necesidad práctica porque nada más se muestra cierto grado de detalle en un solo diagrama de flujo.

Diagramas de flujo en carriles

El **diagrama de flujo en carriles** es una representación visual que agrupa en carriles las áreas funcionales responsables de diferentes subprocesos. Es más apropiado cuando el proceso de negocios pasa las fronteras de varios departamentos, y donde cada departamento o área funcional está separada por líneas paralelas similares a los carriles de nado en una alberca. Los carriles se etiquetan según los grupos funcionales que representan y se pueden arreglar en forma horizontal o vertical.

diagrama de flujo en carriles
Representación visual que agrupa en carriles las áreas funcionales responsables de diferentes subprocesos. Es más apropiado cuando el proceso de negocios pasa las fronteras de varios departamentos.

El diagrama de flujo en carriles de la figura 4.4 ilustra la colocación de una orden y el proceso de aceptación en una compañía manufacturera. El proceso comienza cuando un cliente genera una orden y termina cuando la orden se rechaza, modifica o aprueba por la compañía en acuerdo



▲ **FIGURA 4.4**
Diagrama de flujo en carriles para el proceso de llenado de orden que muestra las transferencias entre departamentos
Fuente: D. Kroenke, *Using MIS*, 4a. ed,, 2012, p. 336. Reimpreso con permiso de Pearson, Upper Saddle River, Nueva Jersey.

con el cliente. Todas las funciones que contribuyen a este proceso se incluyen en el diagrama de flujo. Las columnas representan los diferentes departamentos o áreas funcionales, y los pasos aparecen en la columna del departamento donde se realizan. El cliente también se muestra en una columna. Este enfoque muestra las *transferencias* de un departamento a otro cuando la flecha que sale de un paso va a otra columna. Las líneas punteadas especiales son una manera de mostrar las transferencias. Estas transferencias son puntos en los que la coordinación entre funciones tiene un riesgo particular debido a la mentalidad de exclusividad. Es más probable que haya malos entendidos, retrasos y errores en estos puntos.

Los diagramas de flujo permiten al analista de procesos y a los administradores ver la organización horizontal, en lugar de la organización vertical y las fronteras departamentales implicadas por los organigramas normales. Los diagramas de flujo muestran cómo las organizaciones producen sus salidas mediante procesos de trabajo de funciones cruzadas y permiten que el equipo de diseño vea todas las interfaces críticas entre funciones y departamentos.

Planos de servicio

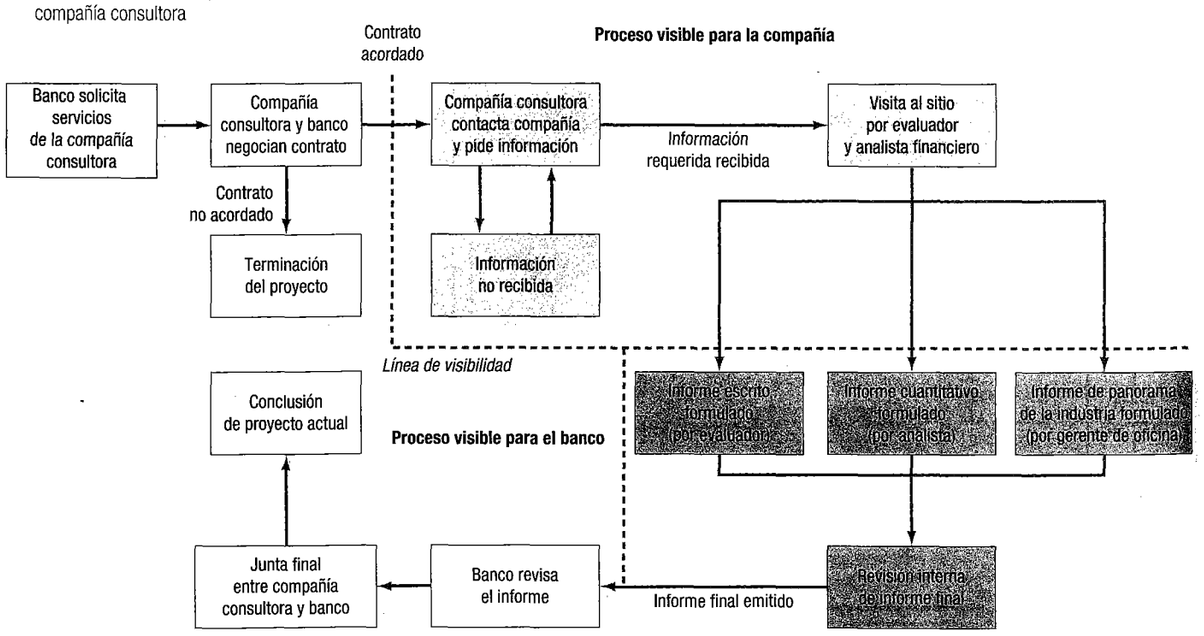
service blueprint
A special flowchart of a service process that shows which steps have high customer contact.

Un buen diseño para los procesos de servicio depende, antes que nada, del tipo y de la cantidad de contacto con el cliente. Un **plano de servicio** es un diagrama de flujo especial de un proceso de servicio y muestra qué pasos tienen un alto contacto con el cliente. Utiliza una línea de visibilidad para identificar qué pasos son visibles para el cliente (y con ello más de un proceso de oficina al frente) y los que no lo son (proceso de oficina atrás).

Otro enfoque para crear un plano de servicio es crear tres niveles. Estos aclaran cuánto control tiene el cliente sobre cada paso. Por ejemplo, considere un cliente que llega en su automóvil a un taller Fast Lube para que le den servicio. El nivel 1 sería cuando el cliente está en control, esto es cuando entra manejando al servicio o cuando paga la cuenta al final. El nivel 2 sería cuando el cliente interactúa con el proveedor de servicio, como cuando hace la solicitud inicial o cuando le notifican qué se necesita hacer. El nivel 3 es cuando el servicio ya no está bajo control del cliente, como cuando se realiza el trabajo y se prepara la factura.

La figura 4.5 ilustra un plano de servicio bastante complejo. No solo muestra los pasos con sus clientes, sino también con los clientes de estos. Muestra los pasos que toma una compañía consultora que se especializa en avalúos y liquidaciones de inventarios. Sus clientes externos son grandes bancos que hacen préstamos sobre activos. Los clientes del banco a su vez son usuarios que buscan un préstamo basado en el valor de sus activos (que incluyen inventarios). La figura 4.5 describe el avalúo actual de la compañía consultora y el proceso de avalúo. Dicho anteproyecto de servicio no solo muestra los pasos en su valoración del inventario actual y su proceso de evaluación, pero también qué pasos son visibles para sus clientes externos (los bancos) y para los clientes de sus clientes (la compañía que busca un préstamo). Se hace una partición de los pasos visibles para los bancos (cuadros en blanco) con líneas verticales de visibilidad. Los pasos visibles para la compañía que busca un préstamo (cuadros gris claro) se dividen con la línea vertical superior de visibilidad y la línea horizontal de visibilidad. La compañía consultora realiza los pasos en gris oscuro y no están visibles para los clientes externos.

▼ **FIGURA 4.5**
Plano de servicio del proceso de avalúo de inventario por la compañía consultora



El proceso comienza con una llamada de un banco que busca el servicio de la compañía consultora. Hay tres pasos principales en el proceso global:

1. El banco contacta a la compañía consultora y acuerdan un contrato.
2. La compañía consultora realiza el avalúo del inventario en el sitio de la compañía que busca un préstamo del banco.
3. La compañía consultora prepara el informe final y lo presenta al banco.

Por supuesto, la visibilidad es solo un aspecto del contacto con el cliente y puede no captarse de manera adecuada, qué tan activamente participa el cliente o cuánta atención personal se requiere. Un plano de servicio, por ejemplo, usa colores, sombreados o formas de los cuadros, en lugar de las líneas de visibilidad, para mostrar el grado y tipo de contacto con el cliente. Otro enfoque para los planos de servicios es etiquetar cada paso con un número y luego poner una tabla adjunta que describa con detalle el contacto con el cliente para cada paso numerado. No existe una "manera correcta" de crear un diagrama de flujo o un plano de servicios.

Técnicas de medición del trabajo

La documentación del proceso no estaría completa sin estimaciones de tiempos promedio para cada paso del proceso. Las estimaciones de tiempo se necesitan no solo en los esfuerzos para mejorar los procesos, sino también para planeación de la capacidad, administración de restricciones, evaluación del desempeño y programación. Estimar el tiempo de una tarea puede ser tan sencillo como hacer una suposición razonada, preguntar a una persona experimentada o tomar notas observando el proceso. Los estudios más extensos incluyen recolección de datos durante varias semanas, consultar datos de contabilidad de costos o verificar los datos registrados en los sistemas de información.

También se dispone de técnicas formales que se apoyan en el juicio de observadores capacitados; **1.** método de estudio del trabajo, **2.** enfoque de datos estándar elementales, **3.** enfoque de datos predeterminados y **4.** muestreo del trabajo. Un quinto método, **5.** análisis de curva de aprendizaje es en particular adecuado cuando se introduce un nuevo producto o proceso y el tiempo por unidad producida todavía no se ha estabilizado. El método elegido depende del propósito de los datos, el tipo de proceso (por trabajo o en línea) y el grado de personalización del producto. Un tratamiento más completo de estas técnicas se encuentra en el suplemento H de MyOMLab, "Medición de tasas de salida" y en el suplemento I, "Análisis de curva de aprendizaje".

MyOMLab

estudio de tiempos
Método de medición del trabajo que utiliza un analista capacitado para realizar los cuatro pasos básicos para establecer un estándar de tiempo para un trabajo o proceso que selecciona los elementos de trabajo (o de los procesos anidados) dentro del proceso en estudio, toma tiempos a los elementos, determina el tamaño de la muestra y establece un estándar final.

datos estándar elementales
Base de datos compilada por una empresa de analistas para los elementos básicos que pueden consultar y después estimar el tiempo requerido para un trabajo en particular, que es muy apropiado cuando los productos o servicios tienen una alta personalización, prevalecen los procesos por trabajo y la divergencia de procesos es grande.

Método de estudio de tiempos El **estudio de tiempos** utiliza un analista capacitado para realizar los cuatro pasos básicos para establecer un estándar de tiempo para un trabajo o proceso: **1.** seleccionar los elementos del trabajo (pasos en un diagrama de flujo o diagrama de proceso) dentro del proceso que se estudia, **2.** tomar tiempo a los elementos, **3.** determinar el tamaño de la muestra y **4.** establecer el estándar final. En esencia, es el tiempo promedio observado, ajustado por el esfuerzo normal y dando tolerancias para descansos, retrasos inevitables y otros. El analista registra el tiempo que tarda cada elemento del proceso en estudio con un cronómetro y registra este tiempo para varias repeticiones. El analista asigna una puntuación de desempeño para cada elemento para ajustar el esfuerzo normal. Algunos elementos pueden realizarse más rápido o más despacio que lo normal, según el juicio del analista. La tolerancia se expresa como una proporción o porcentaje del tiempo *normal* total.

Enfoque de datos estándar elementales Se necesita otro enfoque cuando los productos o servicios están altamente personalizados, prevalecen los procesos por trabajo y la divergencia entre procesos es grande. Los **datos estándar elementales** son una base de estándares compilada por una empresa de analistas para los elementos básicos que pueden consultar y después para estimar el tiempo requerido para un trabajo en particular. Este enfoque funciona bien cuando los elementos de trabajo dentro de ciertas tareas son similares a los de otras. Algunas veces, el tiempo requerido para un elemento de trabajo depende de características variables de las tareas, como la cantidad de metal que debe depositarse para el proceso de soldadura. En esos casos, también se guarda en la base de datos una ecuación que relacione estas características con el tiempo requerido. Otro método, como el estudio de tiempos o de registros históricos, debe usarse todavía para compilar los tiempos normales (antes de agregar las tolerancias) registrados en la base de datos.

EJEMPLO 4.1 **Estudio de tiempos del proceso de ensamblaje de relojes**

Se ha cambiado un proceso en la planta de ensamblaje de relojes. El proceso se divide en tres elementos de trabajo. Se realizó un estudio de tiempos con los siguientes resultados. El tiempo estándar para el proceso antes era de 14.5 minutos. Con base en el nuevo estudio de tiempos, ¿debe revisarse el tiempo estándar?

SOLUCIÓN

El nuevo estudio de tiempos tiene una muestra inicial de cuatro observaciones, con los resultados mostrados en la siguiente tabla. Se muestra el factor de calificación del desempeño (RF) para cada elemento (para ajustarlo por esfuerzo normal) y la tolerancia para todo el proceso es de 18% del tiempo *normal* total.

	Obs 1	Obs 2	Obs 3	Obs 4	Promedio (min)	RF	Tiempo normal
Elemento 1	2.60	2.34	3.12	2.86	2.730	1.0	2.730
Elemento 2	4.94	4.78	5.10	4.68	4.875	1.1	5.363
Elemento 3	2.18	1.98	2.13	2.25	2.135	0.9	1.922
					Tiempo normal total = **10.015 minutos**		

El tiempo normal total para un elemento de la tabla es su tiempo promedio, multiplicado por RF. El tiempo normal total para todo el proceso es la suma de los tiempos normales totales para los tres elementos o 10.015 minutos. Para obtener el tiempo estándar (ST) para el proceso, solo se suma la tolerancia, esto es

$$ST = 10.015(1 + 0.18) = \mathbf{11.82} \text{ minutos/reloj}$$

PUNTO DE DECISIÓN

El tiempo para ensamblar un reloj parece haber disminuido en forma considerable. Sin embargo, con base en la precisión que desea la administración, el analista ha decidido aumentar el tamaño de la muestra antes de establecer un nuevo estándar. El suplemento H de MyOMLab, "Medición de tasas de salida" da más información acerca de la determinación del número de observaciones adicionales requeridas.

MyOMLab

enfoque de datos predeterminados

Enfoque de base de datos que divide cada elemento de trabajo en una serie de micromovimientos que forman el elemento. Entonces, el analista consulta una base de datos publicada que contiene los tiempos normales para el arreglo completo de micromovimientos posibles.

muestreo del trabajo

Proceso que estima la proporción de tiempo que tardan las personas o máquinas en diferentes actividades, basadas en observaciones aleatorias en el tiempo.

Enfoque de tiempos predeterminados El **enfoque de tiempos predeterminados** divide, todavía más, cada elemento de trabajo en una serie de micromovimientos que forman el elemento. Luego el analista consulta una base de datos publicada que contiene los tiempos normales para un arreglo completo de micromovimientos posibles. El tiempo normal de un proceso se calcula como la suma de los tiempos dados en la base de datos para los elementos realizados en el proceso. Este enfoque tiene gran sentido para los procesos altamente repetitivos con poca divergencia y flujos en línea. Los micromovimientos (como alcanzar, mover o aplicar presión) están muy detallados.

Método de muestreo del trabajo El muestreo del trabajo estima la proporción de tiempo que toman personas o máquinas en diferentes actividades, con base en observaciones aleatorias en el tiempo. Ejemplos de estas actividades incluyen el trabajo en un servicio o producto, llenar documentación, esperar instrucciones, esperar el mantenimiento o estar ocioso. Esos datos después se pueden usar para evaluar la productividad del proceso, estimar las tolerancias necesarias al establecer estándares para otros métodos de medición del trabajo y para detectar áreas de mejora de procesos. Es más útil cuando estos son altamente divergentes con flujos flexibles. La figura 4.6 muestra los datos de entrada y los resultados numéricos para una semana de observaciones. Esta figura muestra un tiempo ocioso de 23.81% en la semana. También reporta que se necesitan 237 observaciones para lograr los niveles de confianza y precisión requeridos con los datos de entrada. La manera de llegar a estas conclusiones se explica en el suplemento H de MyOMLab, "Medición de tasas de salida".

FIGURA 4.6 ▼
Estudio de muestreo del trabajo de una recepcionista de admisiones en una clínica de salud usando *Time Study* Solver de OM Explorer

a) Entrada de datos y resultados numéricos

Increase Observations | Remove An Observation

Confidence *z*	1.96	**Precision *p***	0.05

Observation Period	Times Busy	Times Idle	Observations
Monday	6	1	7
Tuesday	5	2	7
Wednesday	7	0	7
Thursday	9	2	11
Friday	5	5	10
Total	32	10	42

b) Tiempo ocioso y observaciones requeridas

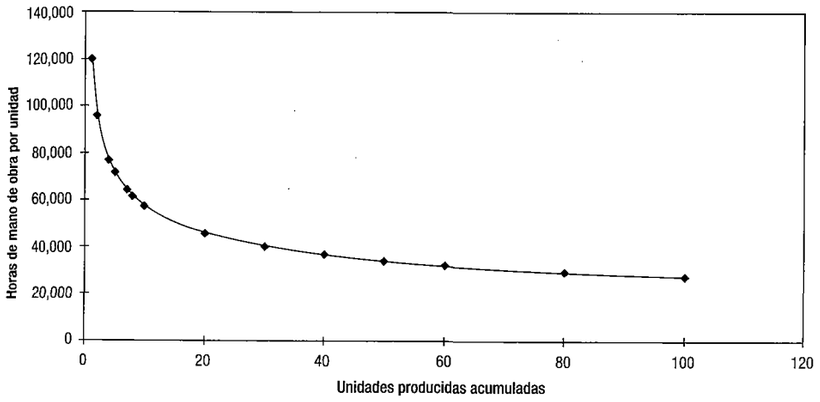
Portion of idle times	0.2381
Total observations required	279
Additional observations required	237

Análisis de la curva de aprendizaje Las técnicas de estimación de tiempo que se acaban de ver suponen que el proceso está estable. Si se revisa el proceso, entonces debe repetirse el método para el proceso revisado una vez que se estabilice. El análisis de curva de aprendizaje, por otro lado, toma en cuenta que hay un aprendizaje en marcha, como cuando se introducen nuevos productos o servicios con frecuencia. Con la instrucción y repetición, los trabajadores aprenden a realizar los trabajos con más eficiencia, se identifican mejoras al proceso y se crean mejores métodos administrativos. Estos efectos del aprendizaje se pueden anticipar con la **curva de aprendizaje**, una línea que despliega la relación entre los tiempos de procesamiento y la cantidad acumulada del bien o servicio que se ha producido. El tiempo necesario para producir una unidad o crear un servicio disminuye mientras más unidades o clientes se procesen. La curva de aprendizaje para un proceso depende de la tasa de aprendizaje y del tiempo estimado o real para la unidad procesada. La figura 4.7 presenta la curva de aprendizaje, suponiendo una tasa de aprendizaje de 80%, donde la primera unidad toma 120,000 horas-hombre y el tiempo promedio acumulado para las primeras 10 unidades producidas. La tasa de aprendizaje maneja cada *duplicación* de la salida total. El tiempo para la segunda unidad es el 80% de la primera (120,000 × .80 = 96,000 horas), y así sucesivamente. Encontrar la estimación de tiempo para una unidad no es una duplicación exacta como en la quinta unidad; además, el tiempo promedio acumulado para las primeras 10 unidades se explica en el suplemento I de MyOMLab, "Análisis de curva de aprendizaje".

learning curve

A line that displays the relationship between *processing time* and the cumulative quantity of a product or service produced.

MyOMLab



Tiempo para la primera unidad	120,000
Número unitario	10
Tiempo por unidad10	57,172
Tiempo promedio acumulado por unidad	75,784

◄ FIGURA 4.7
Curva de aprendizaje con tasa de aprendizaje de 80% usando *Learning curves* Solver de OM Explorer

Diagrama de proceso

Un **diagrama de proceso** es una manera organizada de documentar todas las actividades realizadas por una persona o grupo de personas en una estación de trabajo, con un cliente o trabajando con ciertos materiales. Analiza un proceso usando una tabla y proporciona información acerca de cada paso del proceso. Al contrario de los diagramas de flujo y los planos de servicio, requiere estimaciones de tiempo (vea las técnicas de medición del trabajo cubiertas en la última sección). Con frecuencia se usa para llegar hasta el nivel de trabajo de una persona individual, un equipo o un proceso anidado dedicado. Puede tener muchos formatos. Aquí agrupamos el tipo de actividades para un proceso típico en cinco categorías.

- *Operación.* Cambia, crea o agrega algo. Taladrar o servir a un cliente son ejemplos de operaciones.
- *Transporte.* Mueve al sujeto de estudio de un lado a otro (algunas veces llamado *manejo de materiales*). El sujeto sería una persona, un material, una herramienta o una pieza de equipo. Un cliente que camina de un lado a otro de un mostrador, una grúa que levanta una barra de acero a un lugar dado, una banda que lleva productos parcialmente terminados de una estación de trabajo a la siguiente son ejemplos de transporte. También puede ser el envío de productos terminados al cliente o a un almacén.
- *Inspección.* Verifica algo pero no lo cambia. Obtener retroalimentación de un cliente, buscar imperfecciones en una superficie, pesar un producto y tomar una lectura de la temperatura son ejemplos de inspecciones.
- *Retraso.* Ocurre cuando el sujeto se detiene en espera de la siguiente acción. El tiempo de espera para un servidor, el tiempo que pasa esperando materiales o equipo, tiempo de limpieza y el tiempo que trabajadores, máquinas o estaciones de trabajo están ociosos debido a que no tienen trabajo que completar son ejemplos de retrasos.

diagrama de proceso

Una manera organizada de documentar todas las actividades realizadas por una persona o grupo de personas en una estación de trabajo, con un cliente o con materiales.

- *Almacenaje.* Ocurre cuando se guarda algo por un tiempo. El abastecimiento descargado y colocado en un almacén como inventario, equipo que se guarda después de usarlo y papeles que se archivan son ejemplos de almacenaje.

Dependiendo de la situación se usarán otras categorías. Por ejemplo, la subcontratación de servicios externos puede ser una categoría; y el almacenaje temporal y permanente o la basura ambiental, tres categorías separadas. Elegir las categorías correctas para cada actividad requiere tener una perspectiva del sujeto que se estudia. Un retraso para el equipo puede ser una inspección o un transporte para el operario.

Para completar un diagrama para un nuevo proceso, el analista debe identificar cada paso realizado. Si el proceso es uno existente, el analista de hecho observa los pasos y categoriza cada paso de acuerdo con el sujeto que se estudia. El analista luego registra la distancia viajada y el tiempo que toma cada paso. Después de registrar las actividades y los pasos, el analista resume los datos de pasos, tiempos y distancias. La figura 4.8 muestra un diagrama de proceso preparado usando *Process Chart* Solver de OM Explorer. Se trata de un paciente con un tobillo lesionado que es tratado en un hospital. El proceso comienza en la entrada y termina cuando el paciente sale después de recoger su receta.

Una vez que se diagrama el proceso, el analista puede estimar el costo anual del todo el proceso. Se convierte en un punto de comparación (*benchmarking*) en cuanto a qué otros métodos para realizar el proceso se deben evaluar. El costo anual de la mano de obra se estima encontrando el producto de: **1.** el tiempo en horas para realizar el proceso cada vez, **2.** los costos variables por hora y **3.** el número de veces que se realiza el proceso cada año, esto es

$$\text{Costo anual de mano de obra} = \begin{pmatrix}\text{tiempo para realizar}\\ \text{el proceso en horas}\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\text{costos variables}\\ \text{por hora}\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\text{número de veces que se realiza}\\ \text{el proceso por año}\end{pmatrix}$$

Por ejemplo, si el tiempo promedio para servir a un cliente es cuatro horas, el costo variable es $25 por hora y se sirve a 40 clientes al año, entonces el costo de mano de obra es $4,000 por año (4 h/cliente × $25/h × 40 clientes/año).

En el caso del paciente en la figura 4.8, esta conversión no sería necesaria, ya que el tiempo total es suficiente. Lo que se está rastreando es el tiempo del paciente, no el tiempo y costos de los proveedores del servicio.

MyOMLab
El tutor 4.1 en MyOMLab tiene un nuevo ejemplo como práctica de la creación de diagramas de proceso.

FIGURA 4.8 ▶
Diagrama de proceso para la admisión a una sala de urgencias

Proceso: Admisión a urgencias
Sujeto: Paciente con lesión en tobillo
Inicio: Entrada a sala de urgencias
Terminación: Salida del hospital

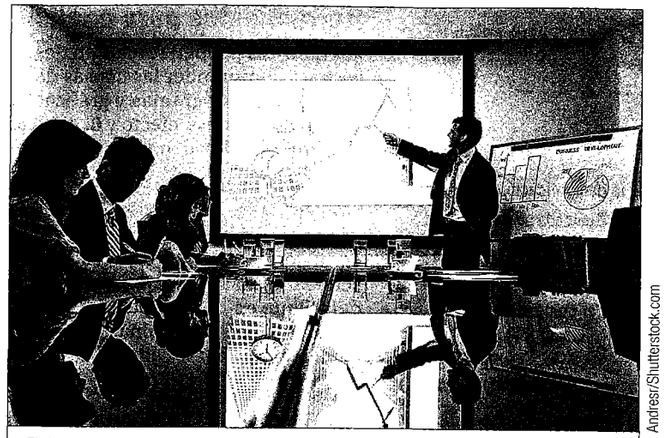
Insertar paso
Anexar paso
Eliminar paso

Resumen

Actividad	Número de pasos	Tiempo (min)	Distancia (pies)
Operación ●	5	23.00	
Transporte ➡	9	11.00	815
Inspección ■	2	8.00	
Retrasos ◗	3	8.00	
Almacenaje ▼	—	—	

Paso núm.	Tiempo (min)	Distancia (pies)	●	➡	■	◗	▼	Descripción del paso
1	0.50	15.0		X				Entrar a sala de urgencias, acercarse a la ventana de pacientes
2	10.00		X					Sentarse y llenar historia de paciente
3	0.75	40.0		X				Enfermera escolta al paciente a la sala de clasificación
4	3.00				X			Enfermera inspecciona la lesión
5	0.75	40.0		X				Regresar a sala de espera
6	1.00					X		Esperar una cama disponible
7	1.00	60.0		X				Ir a cama de urgencias
8	4.00					X		Esperar al doctor
9	5.00				X			Doctor inspecciona lesión y pregunta al paciente
10	2.00	200.0		X				Enfermera lleva a paciente a radiología
11	3.00		X					Técnico toma radiografía de paciente
12	2.00	200.0		X				Regresar a la cama de urgencias
13	3.00					X		Esperar el regreso del doctor
14	2.00		X					Doctor da un diagnóstico y aconseja
15	1.00	60.0		X				Regresar al área de entrada de urgencias
16	4.00		X					Pagar
17	2.00	180.0		X				Ir a la farmacia
18	4.00		X					Recoger su receta
19	1.00	20.0		X				Dejar el edificio

Cada quien puede diseñar su propia hoja del diagrama de proceso para resaltar los aspectos que sean especialmente importantes en el proceso que se analiza, como categorías de contacto con el cliente, divergencia del proceso y otros. También es posible rastrear medidas de desempeño diferentes al tiempo y la distancia recorrida, como tasas de error. Además, es posible crear una versión diferente de la hoja de diagrama del proceso que examine los procesos de manera parecida a los diagramas de flujo, pero ahora en forma de tabla. Las columnas que clasifican el tipo de actividad se pueden sustituir por una o más columnas para reportar diferentes medidas de interés, en lugar de tratar de incluirlas en el diagrama de flujo. Aunque quizá no se vea tan elegante, quizá sea tanto o *más informativo y más sencillo de elaborar.*


Andresr/Shutterstock.com

El líder de un equipo de diseño presenta varias gráficas que documentan un proceso de su oficina que están analizando. Él identifica varias áreas con desempeño subestándar en el rango de las diferentes métricas. El siguiente paso será rediseñar el proceso. El rotafolios a la derecha será útil al generar una lluvia de ideas en equipo acerca de cómo se mejoraría el proceso.

Evaluación del desempeño

Las métricas y la información del desempeño completan la documentación de un proceso (vea el paso 3 en la figura 4.1). Las métricas se pueden presentar de varias maneras. Algunas veces se agregan directamente al diagrama de flujo o diagrama del proceso. Cuando el número de métricas crece mucho, otra opción es crear una tabla de apoyo para el diagrama. Los renglones son los pasos en el diagrama de flujo, diagrama en carriles, plano del servicio o diagrama del proceso. Las columnas son el desempeño, las metas y las diferencias en el desempeño actuales para las distintas métricas.

Las métricas específicas que los analistas eligen dependen del proceso que se analiza y de las prioridades competitivas. Unos buenos puntos de inicio son tiempo de procesamiento por unidad y costo en cada paso, al igual que el tiempo transcurrido de principio a fin del proceso. La utilización de la capacidad, los aspectos ambientales y los tiempos de espera de los clientes (o trabajos) revelan en qué punto del proceso es más probable que ocurran retrasos. Las medidas de satisfacción del cliente, las tasas de error y las tasas de desperdicio identifican posibles problemas de calidad. En los capítulos subsecuentes se introducen muchas métricas. La figura 4.9 muestra el capítulo o el suplemento relacionado con algunas métricas básicas. Cuando estos capítulos se comprendan, terminaremos el estudio del análisis del proceso.

Capítulo 5. Calidad y desempeño

- Medición de la satisfacción del cliente
- Tasa de error
- Tasa de retrabajo o desperdicio
- Costo de falla interna

Capítulo 6. Planeación de la capacidad; Suplemento B, Líneas de espera; MyOMLab suplemento H, Medición de las tasa de salida; MyOMLab Suplemento I, Análisis de curva de aprendizaje

- Tiempo de procesamiento
- Tiempo de preparación
- Utilización de la capacidad
- Tiempo de espera promedio
- Número promedio de clientes o trabajo en la línea de espera

Capítulo 7. Administración de restricciones

- Tiempo total de inicio a fin (tiempo para salir)
- Tiempo de preparación
- Tiempo de ciclo
- Tiempo ocioso
- Gastos de operación

Capítulo 8. Sistemas esbeltos

- Tiempo de preparación
- Tiempo Takt
- Tiempo de espera promedio
- Desperdicio

◀ FIGURA 4.9
Métricas para diagramas de flujo, diagramas de proceso y tablas adjuntas

Herramientas para análisis de datos

Las métricas pueden revelar un desajuste en el desempeño. Se dispone de varias herramientas útiles para comprender las causas del problema.[1] Se presentan seis herramientas: **1.** listas de verificación. **2.** histogramas y gráficas de barras, **3.** gráficas de Pareto, **4.** diagramas de dispersión, **5.** diagramas causa-efecto y **6.** gráficas. Muchas de ellas se desarrollaron en principio para analizar aspectos de calidad, pero se aplican de la misma manera a todas las medidas de desempeño.

lista de verificación
Forma utilizada para registrar la frecuencia de ocurrencia de ciertas fallas del proceso.

falla del proceso
Cualquier deficiencia en el desempeño, como un error, retraso, desperdicio ambiental, retrabajo y otras.

Listas de verificación Con frecuencia, la recolección de datos utilizando una lista de verificación es el primer paso en el análisis de medidas. Una **lista de verificación** es una forma que se usa para registrar la frecuencia con que ocurren ciertas fallas del proceso. Una **falla del proceso** es cualquier deficiencia, como un error, retraso, desperdicio ambiental, retrabajo y situaciones semejantes. Las características pueden ser medibles en una escala continua (peso, satisfacción del cliente en una escala de 1 a 7, costo unitario, porcentaje de pérdidas en desperdicio, tiempo o longitud) o en una binaria de sí o no (quejas de los clientes, publicación de errores, decoloración de pintura o servidores desatentos).

histograma
Resumen de datos medidos en una escala continua que muestra la distribución de frecuencias de alguna falla del proceso (en términos estadísticos, la tendencia central y la dispersión de los datos).

Histogramas y gráficas de barras Los datos de una lista de verificación, muchas veces, se presentan de forma concisa y clara con histogramas o gráficas de barras. Un **histograma** resume los datos medidos en una escala continua, mostrando la distribución de las frecuencias de las fallas de un proceso (en términos estadísticos, la tendencia central y la dispersión de los datos). A menudo la media de los datos se indica en el histograma. Una **gráfica de barras** (vea la figura 4.10) es una serie de barras que representan la frecuencia de ocurrencia de las características de los datos medidos como sí o no. La altura de la barra indica el número de veces que se observó una falla en un proceso dado.

gráfica de barras
Serie de barras que representa la frecuencia de ocurrencia de las características de los datos medidos como sí o no.

Gráfica de Pareto Cuando los administradores descubren varios problemas del proceso que necesitan atención, deben decidir qué hay que abordar primero. Vilfredo Pareto, un científico italiano del siglo XIX cuyo trabajo estadístico se enfocó en las desigualdades en los datos, propuso que la mayor parte de una "actividad" está ocasionada por relativamente pocos factores. En un problema de calidad en un restaurante, la actividad puede ser quejas de los clientes y el factor ser un "servidor descortés". Para un fabricante, la actividad puede ser defectos en el producto y el factor ser "una parte que falta". El concepto de Pareto, llamado la regla 80–20, dice que 80% de la actividad está ocasionada por 20% de los factores. Al concentrarse en el 20% de estos (esos "pocos vitales"), los administradores atacarían 80% de los problemas de fallas del proceso. Por supuesto, el porcentaje exacto varía en cada situación, pero es inevitable que relativamente pocos factores sean la causa de la mayor parte de las deficiencias de desempeño.

gráfica de Pareto
Gráfica de barras en la cual los factores se colocan en el eje horizontal en orden decreciente de frecuencia.

Los pocos, pero vitales, factores se pueden identificar con una **gráfica de Pareto**, una gráfica de barras en la que los factores se colocan en el eje horizontal en orden decreciente de frecuencia (vea la figura 4.11). La gráfica tienen dos ejes verticales, la de la izquierda muestra la frecuencia (como un histograma) y la de la derecha presenta el porcentaje acumulado de la frecuencia. La curva de la frecuencia acumulada identifica los pocos factores que requieren atención administrativa inmediata.

EJEMPLO 4.2 Gráfica de Pareto para un restaurante

MyOMLab
El modelo activo 4.1 en MyOMLab proporciona un panorama adicional sobre este ejemplo de gráficas de Pareto y sus extensiones.

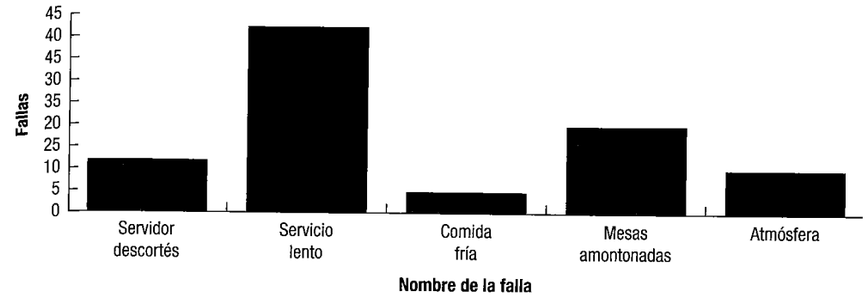
MyOMLab
El tutor 4.2 en MyOMLab proporciona un nuevo ejemplo para la creación de gráficas de Pareto.

El gerente de un restaurante cercano está preocupado por el bajo número de clientes que frecuentan su comedor. Las quejas habían aumentado y él desea averiguar qué aspectos abordar y presentar sus hallazgos en una forma en que sus empleados puedan comprender.

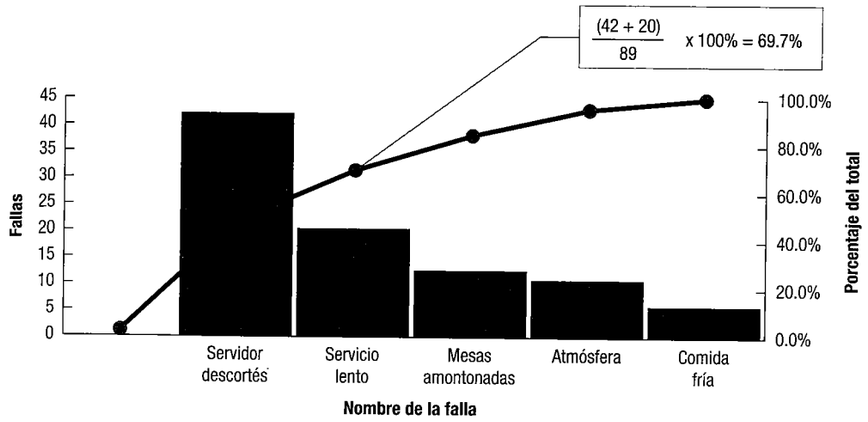
SOLUCIÓN
El gerente entrevistó a los clientes durante varias semanas y reunió los siguientes datos:

Queja	Frecuencia
Servidor descortés	12
Servicio lento	42
Comida fría	5
Mesas amontonadas	20
Atmósfera	10

[1] Varias de estas herramientas, en particular las gráficas de Pareto y los diagramas de causa-efecto tienen una relación estrecha con el capítulo 5, "Calidad y desempeño". Se introducen aquí porque se aplican a las fallas del proceso en general y no solo a la calidad.



◀ **FIGURA 4.10**
Gráfica de barras



◀ **FIGURA 4.11**
Gráfica de Pareto

La figura 4.10 es una gráfica de barras y la figura 4.11 es una gráfica de Pareto, ambas creadas con el Solver *Barras, Pareto y gráfica lineal* de OM Explorer. Presentan los datos de manera que muestran cuáles quejas son las que más prevalecen (las pocas vitales). Es posible reformatear estas gráficas para cualquier métrica de "sí o no" quitando la protección de la hoja de cálculo y luego hacer la revisión propia. Por ejemplo, si se usa Microsoft Excel 2010, solo haga clic en Inicio/Formato/Protección/Desproteger hoja. Otro enfoque es crear sus propias hojas desde cero. El software más avanzado con una interfase de señala y haz clic incluye Minitab (**www.minitab.com/index.hStmA**), SAS (**www.sas.com/rnd/app/qc.html**), y Microsoft Visio (**www.microsoft.com/office/visio**).

PUNTO DE DECISIÓN
Queda claro para el gerente (y para todos los empleados) qué quejas, si se rectifican, cubren la mayor parte de los problemas de falla del proceso en el restaurante. Primero se atenderá el servicio lento capacitando al personal actual, agregando otro servidor y mejorando el proceso de preparación de comida. Si se eliminan los muebles decorativos del área del comedor y se separan un poco las mesas se resuelve el problema de mesas amontonadas. La gráfica de Pareto muestra que estos dos problemas, si se corrigen, dan cuenta de 70% de las quejas.

diagrama de dispersión
Gráfica de dos variables que muestra si están relacionadas.

Diagramas de dispersión Algunos administradores sospechan que cierto factor es la causa de una falla específica del proceso. Un **diagrama de dispersión**, que es una gráfica de dos variables que muestra si están relacionadas, se puede utilizar para confirmar o negar la sospecha. Cada punto en el diagrama de dispersión representa un dato de una observación. Por ejemplo, el administrador de una tienda de moldes sospecha que los defectos son una función del diámetro del molde. Se puede elaborar un diagrama de dispersión graficando el número de moldes defectuosos para cada diámetro de molde producido. Al terminar el diagrama, cualquier relación entre el diámetro y el número de fallas del proceso será evidente.

diagrama causa-efecto
Diagrama que relaciona un problema de desempeño clave con sus causas potenciales.

Diagramas causa-efecto Un aspecto importante del análisis del proceso es relacionar cada medida con las entradas, métodos y paso de proceso que integra un atributo en particular en el servicio o producto. Una manera de identificar un problema de diseño es desarrollar un **diagrama de causa-efecto** que relaciona un problema de desempeño clave con sus causas potenciales. Desarrollado primero por Kaoru Ishikawa, el diagrama ayuda al administrador a rastrear desconexiones directamente involucradas con las operaciones. Los procesos que no tienen que ver con un problema en particular no se muestran en el diagrama.

Herramientas para análisis de datos

Las métricas pueden revelar un desajuste en el desempeño. Se dispone de varias herramientas útiles para comprender las causas del problema.[1] Se presentan seis herramientas: **1.** listas de verificación. **2.** histogramas y gráficas de barras, **3.** gráficas de Pareto, **4.** diagramas de dispersión, **5.** diagramas causa-efecto y **6.** gráficas. Muchas de ellas se desarrollaron en principio para analizar aspectos de calidad, pero se aplican de la misma manera a todas las medidas de desempeño.

lista de verificación
Forma utilizada para registrar la frecuencia de ocurrencia de ciertas fallas del proceso.

falla del proceso
Cualquier deficiencia en el desempeño, como un error, retraso, desperdicio ambiental, retrabajo y otras.

Listas de verificación Con frecuencia, la recolección de datos utilizando una lista de verificación es el primer paso en el análisis de medidas. Una **lista de verificación** es una forma que se usa para registrar la frecuencia con que ocurren ciertas fallas del proceso. Una **falla del proceso** es cualquier deficiencia, como un error, retraso, desperdicio ambiental, retrabajo y situaciones semejantes. Las características pueden ser medibles en una escala continua (peso, satisfacción del cliente en una escala de 1 a 7, costo unitario, porcentaje de pérdidas en desperdicio, tiempo o longitud) o en una binaria de sí o no (quejas de los clientes, publicación de errores, decoloración de pintura o servidores desatentos).

histograma
Resumen de datos medidos en una escala continua que muestra la distribución de frecuencias de alguna falla del proceso (en términos estadísticos, la tendencia central y la dispersión de los datos).

Histogramas y gráficas de barras Los datos de una lista de verificación, muchas veces, se presentan de forma concisa y clara con histogramas o gráficas de barras. Un **histograma** resume los datos medidos en una escala continua, mostrando la distribución de las frecuencias de las fallas de un proceso (en términos estadísticos, la tendencia central y la dispersión de los datos). A menudo la media de los datos se indica en el histograma. Una **gráfica de barras** (vea la figura 4.10) es una serie de barras que representan la frecuencia de ocurrencia de las características de los datos medidos como sí o no. La altura de la barra indica el número de veces que se observó una falla en un proceso dado.

gráfica de barras
Serie de barras que representa la frecuencia de ocurrencia de las características de los datos medidos como sí o no.

gráfica de Pareto
Gráfica de barras en la cual los factores se colocan en el eje horizontal en orden decreciente de frecuencia.

Gráfica de Pareto Cuando los administradores descubren varios problemas del proceso que necesitan atención, deben decidir qué hay que abordar primero. Vilfredo Pareto, un científico italiano del siglo XIX cuyo trabajo estadístico se enfocó en las desigualdades en los datos, propuso que la mayor parte de una "actividad" está ocasionada por relativamente pocos factores. En un problema de calidad en un restaurante, la actividad puede ser quejas de los clientes y el factor ser un "servidor descortés". Para un fabricante, la actividad puede ser defectos en el producto y el factor ser "una parte que falta". El concepto de Pareto, llamado la regla 80–20, dice que 80% de la actividad está ocasionada por 20% de los factores. Al concentrarse en el 20% de estos (esos "pocos vitales"), los administradores atacarían 80% de los problemas de fallas del proceso. Por supuesto, el porcentaje exacto varía en cada situación, pero es inevitable que relativamente pocos factores sean la causa de la mayor parte de las deficiencias de desempeño.

Los pocos, pero vitales, factores se pueden identificar con una **gráfica de Pareto**, una gráfica de barras en la que los factores se colocan en el eje horizontal en orden decreciente de frecuencia (vea la figura 4.11). La gráfica tienen dos ejes verticales, la de la izquierda muestra la frecuencia (como un histograma) y la de la derecha presenta el porcentaje acumulado de la frecuencia. La curva de la frecuencia acumulada identifica los pocos factores que requieren atención administrativa inmediata.

EJEMPLO 4.2 Gráfica de Pareto para un restaurante

MyOMLab
El modelo activo 4.1 en MyOMLab proporciona un panorama adicional sobre este ejemplo de gráficas de Pareto y sus extensiones.

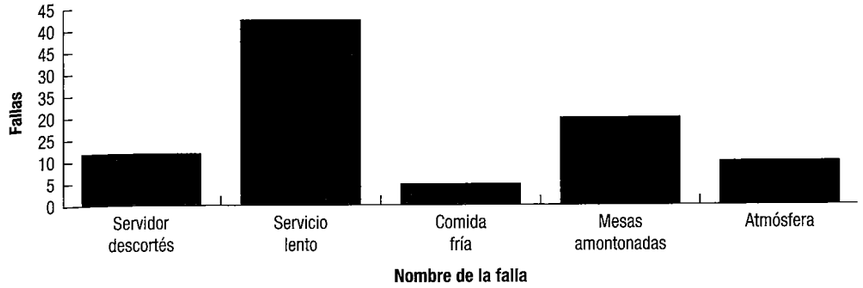
El gerente de un restaurante cercano está preocupado por el bajo número de clientes que frecuentan su comedor. Las quejas habían aumentado y él desea averiguar qué aspectos abordar y presentar sus hallazgos en una forma en que sus empleados puedan comprender.

SOLUCIÓN
El gerente entrevistó a los clientes durante varias semanas y reunió los siguientes datos:

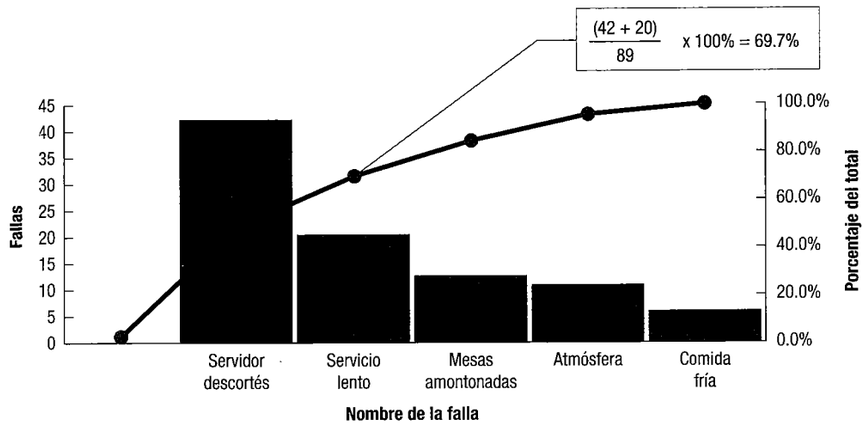
Queja	Frecuencia
Servidor descortés	12
Servicio lento	42
Comida fría	5
Mesas amontonadas	20
Atmósfera	10

MyOMLab
El tutor 4.2 en MyOMLab proporciona un nuevo ejemplo para la creación de gráficas de Pareto.

[1] Varias de estas herramientas, en particular las gráficas de Pareto y los diagramas de causa-efecto tienen una relación estrecha con el capítulo 5, "Calidad y desempeño". Se introducen aquí porque se aplican a las fallas del proceso en general y no solo a la calidad.



◀ **FIGURA 4.10**
Gráfica de barras



◀ **FIGURA 4.11**
Gráfica de Pareto

La figura 4.10 es una gráfica de barras y la figura 4.11 es una gráfica de Pareto, ambas creadas con el Solver *Barras, Pareto y gráfica lineal* de OM Explorer. Presentan los datos de manera que muestran cuáles quejas son las que más prevalecen (las pocas vitales). Es posible reformatear estas gráficas para cualquier métrica de "sí o no" quitando la protección de la hoja de cálculo y luego hacer la revisión propia. Por ejemplo, si se usa Microsoft Excel 2010, solo haga clic en Inicio/Formato/Protección/Desproteger hoja. Otro enfoque es crear sus propias hojas desde cero. El software más avanzado con una interfase de señala y haz clic incluye Minitab (**www.minitab.com/index.hStmA**), SAS (**www.sas.com/rnd/app/qc.html**), y Microsoft Visio (**www.microsoft.com/office/visio**).

PUNTO DE DECISIÓN
Queda claro para el gerente (y para todos los empleados) qué quejas, si se rectifican, cubren la mayor parte de los problemas de falla del proceso en el restaurante. Primero se atenderá el servicio lento capacitando al personal actual, agregando otro servidor y mejorando el proceso de preparación de comida. Si se eliminan los muebles decorativos del área del comedor y se separan un poco las mesas se resuelve el problema de mesas amontonadas. La gráfica de Pareto muestra que estos dos problemas, si se corrigen, dan cuenta de 70% de las quejas.

Diagramas de dispersión Algunos administradores sospechan que cierto factor es la causa de una falla específica del proceso. Un **diagrama de dispersión**, que es una gráfica de dos variables que muestra si están relacionadas, se puede utilizar para confirmar o negar la sospecha. Cada punto en el diagrama de dispersión representa un dato de una observación. Por ejemplo, el administrador de una tienda de moldes sospecha que los defectos son una función del diámetro del molde. Se puede elaborar un diagrama de dispersión graficando el número de moldes defectuosos para cada diámetro de molde producido. Al terminar el diagrama, cualquier relación entre el diámetro y el número de fallas del proceso será evidente.

diagrama de dispersión
Gráfica de dos variables que muestra si están relacionadas.

Diagramas causa-efecto Un aspecto importante del análisis del proceso es relacionar cada medida con las entradas, métodos y paso de proceso que integra un atributo en particular en el servicio o producto. Una manera de identificar un problema de diseño es desarrollar un **diagrama de causa-efecto** que relaciona un problema de desempeño clave con sus causas potenciales. Desarrollado primero por Kaoru Ishikawa, el diagrama ayuda al administrador a rastrear desconexiones directamente involucradas con las operaciones. Los procesos que no tienen que ver con un problema en particular no se muestran en el diagrama.

diagrama causa-efecto
Diagrama que relaciona un problema de desempeño clave con sus causas potenciales.

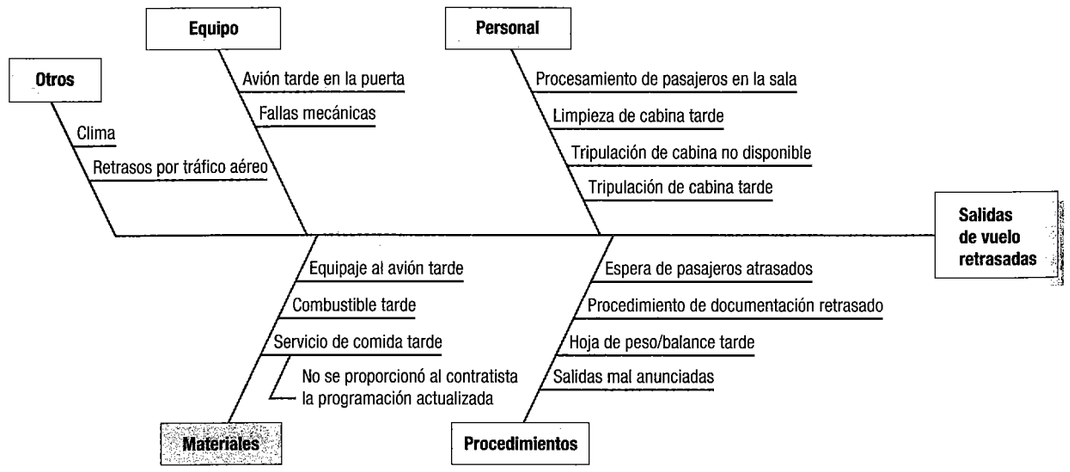
El diagrama causa-efecto algunas veces se llama *diagrama de pescado*. La discrepancia principal del desempeño se etiqueta como la "cabeza" del pescado, las categorías de causas potenciales como "huesos estructurales" y las causas específicas probables como las "costillas". Cuando se construye y utiliza un diagrama de causa-efecto, el analista identifica todas las categorías importantes de causas potenciales del problema. Estas pueden ser personal, máquinas, materiales y procesos. Para cada categoría, el analista enumera todas las causas probables de la deficiencia en el desempeño. Bajo el concepto personal puede enumerarse "falta de capacitación", "mala comunicación" y "ausentismo". El pensamiento creativo ayuda al analista a identificar y clasificar todas las causas que se sospechan. El analista investiga de manera sistemática las causas enumeradas en el diagrama para cada categoría importante y actualiza la gráfica cuando aparecen nuevas causas. El proceso de construir el diagrama de causa-efecto hace que la atención del administrador y trabajador se dirija a los factores primarios que afectan las fallas del proceso. El ejemplo 4.3 muestra la utilización del diagrama de causa-efecto para una aerolínea.

EJEMPLO 4.3 Análisis de retrasos en la salida de vuelos

El gerente de operaciones de Cheker Board Airlines en el Aeropuerto Internacional de Port Columbus observó un incremento en el número de retrasos de las salidas de vuelos.

SOLUCIÓN

Para analizar todas las causas posibles del problema el gerente elaboró un diagrama de causa-efecto, mostrado en la figura 4.12, El problema principal, salida demorada de vuelos, es la "cabeza" del diagrama. Realizó una lluvia de ideas de todas las causas posibles con su personal y juntos identificaron varias categorías importantes: equipo, personal, materiales, procedimientos y "otros factores" que están fuera del control del gerente. Se identificaron varias causas posibles para cada categoría.



▼ **FIGURA 4.12**
Diagrama de causa-efecto para los retrasos en las salidas de vuelos.
Fuente: Adaptado de D. Daryl Wyckoff, "New Tools for Achieving Service Quality", *The Cornell H.R.A. Quarterly*. Utilizado con permiso. Todos los derechos reservados.

PUNTO DE DECISIÓN

El gerente de operaciones, al tener un buen conocimiento del proceso, sospechó que la mayor parte de los retrasos de los vuelos eran ocasionados por problemas de materiales. En consecuencia, examinó las operaciones de servicio de comida, combustible y manejo de maletas. Descubrió que el número de carros para la transferencia de equipaje era insuficiente y que los aviones se retrasaban por la espera del equipaje de vuelos de conexión.

gráficas
Representaciones de datos en una variedad de formatos pictóricos, como gráficas de líneas y diagramas de pastel.

Gráficas Las **gráficas** representan datos en una variedad de formatos pictóricos, como gráficas de líneas y diagramas de pastel. Las *gráficas de líneas* representan datos de manera secuencial con puntos conectados por segmentos de línea para resaltar las tendencias en los datos. Las gráficas de líneas se usan en las gráficas de control (vea el capítulo 5, "Calidad y desempeño") y de pronósticos (vea el capítulo 14, "Pronósticos"). Las gráficas o diagramas de pastel representan los factores de los procesos como rebanadas de pastel; el tamaño de cada rebanada es proporcional al número

de ocurrencias del factor. Los diagramas de pastel son útiles para mostrar datos de un *grupo de factores* que pueden representarse como porcentajes cuyo total es 100 por ciento.

Cada una de las herramientas para mejorar la calidad puede usarse de manera independiente, pero su poder es mayor cuando se utilizan juntas. Resolver un problema relacionado con el proceso implica que, con frecuencia, los administradores actúen como detectives, pues tamizan los datos para aclarar los problemas involucrados y deducen las causas. Este proceso se conoce como *fisgoneo* o *filtrado de datos*. El ejemplo 4.4 presenta cómo las herramientas para mejorar la calidad se utilizan en el filtrado de datos.

Un modelo de simulación va un paso más adelante que las herramientas de análisis de datos, porque muestra los cambios dinámicos del proceso en el tiempo. La **simulación del proceso** es el acto de reproducir el comportamiento de un proceso, con un modelo que describe cada paso. Una vez que el proceso se modela, el analista puede hacer cambios en ese modelo para observar el impacto sobre ciertas métricas, como tiempo de respuesta, líneas de espera, utilización de recursos y otros. Para aprender más acerca cómo funciona la simulación, vea el suplemento E, "Simulación" de MyOMLab. Es posible obtener capacidades avanzadas usando SimQuick, que se encuentra en MyOMLab (**www.nd.edu/~dhartvig/simquick/top.html**). Otros paquetes de software incluyen Extend (**http://www.extendsim.com//**), SIMPROCESS (**www.caciasl.com**), ProModel (**www.promodel.com**) y Witness (**www.lanner.com**).

simulación del proceso
Acto de reproducir el comportamiento de un proceso usando un modelo que describe cada paso.

MyOMLab

Rediseño de procesos

Un doctor señala una enfermedad después de un examen exhaustivo del paciente, después recomienda tratamientos basados en el diagnóstico; lo mismo ocurre con los procesos. Después de documentar un proceso, recolectar datos de las métricas e identificar las desconexiones, el analista o el equipo de diseño del proceso establece un conjunto de cambios que mejorará el proceso. En este paso, se invita a las personas directamente involucradas en el proceso para que den sus ideas y opiniones.

Generación de ideas: preguntas y lluvia de ideas

Algunas veces, las ideas para aplicar reingeniería o mejorar el proceso se vuelven evidentes después de documentar el proceso y examinar con cuidado las áreas de desempeño subestándar, las transferencias entre departamentos y los pasos en los que el contacto con el cliente es alto. El ejemplo 4.4 ilustra cómo la documentación señala una mejor manera de manejar forros de fibra mediante una mejor capacitación. En otros casos, la mejor solución es menos evidente. Las ideas pueden generarse (porque siempre hay una mejor manera) haciendo seis preguntas acerca de cada paso del proceso y acerca del proceso como un todo:

1. ¿*Qué* se está haciendo?
2. ¿*Cuándo* se hace?
3. ¿*Quién* lo hace?
4. ¿*Dónde* se hace?
5. ¿*Cómo* se hace?
6. ¿*Qué tan* ***bien*** calificado sale en las distintas métricas de importancia?

Las respuestas a estas preguntas se cuestionan haciendo otra serie de preguntas. ¿*Por qué* se realiza el proceso? ¿*Por qué* se realiza en ese lugar? ¿*Por qué* se realiza en ese momento?

La creatividad también puede estimular la **lluvia de ideas**, dejando que un grupo de personas conocedoras del proceso propongan ideas para el cambio diciendo lo que les viene a la mente. Un facilitador registra las ideas generadas durante la sesión en un pizarrón, de manera que todos puedan verlas. Se desalienta a los participantes a evaluar cualquiera de las ideas generadas durante la sesión. El propósito es impulsar la creatividad y obtener el mayor número de ideas posible, sin importar lo inverosímiles que puedan parecer. Los participantes de una sesión de lluvia de ideas no deben estar limitados al equipo de diseño, siempre y cuando hayan visto la documentación del proceso. Un número creciente de compañías grandes, como Sun Life Financial y Georgia-Pacific, están aprovechando Internet y software especialmente diseñados para realizar las sesiones de lluvia de ideas que permitan a personas que se encuentran lejos "reunirse" en línea y discutir a fondo soluciones para un problema específico. La tecnología deja a los empleados ver y elaborar en conjunción con las ideas de otros, de manera que la semilla de una persona sobre un concepto puede crecer y llegar a un plan práctico.

lluvia de ideas
Dejar que un grupo de personas, con conocimiento del proceso, proponga ideas para los cambios, diciendo lo que se les viene a la mente.

EJEMPLO 4.4 Identificar las causas de falla de un proceso para el techo interior

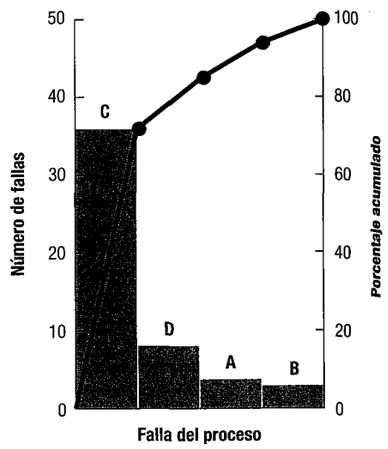
La Wellington Fiber Board Company produce componentes de fibra de vidrio que forman el techo interior de los vehículos de pasajeros. La administración quiere identificar qué fallas del proceso prevalecen y encontrar la causa.

Paso 1. Lista de verificación

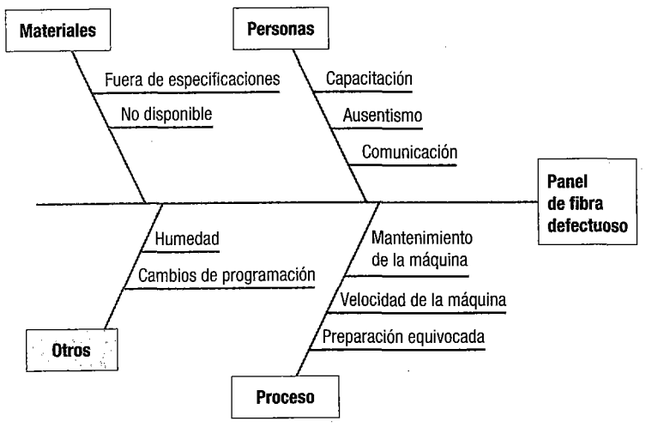
Fallas del techo interior

Falla del proceso	Conteo	Total
A. Rasgaduras en la tela	IIII	4
B. Decoloración de la tela	III	3
C. Panel de fibra defectuoso	𝍸 𝍸 𝍸 𝍸 𝍸 𝍸 𝍸 I	36
D. Orillas melladas	𝍸 II	7
		Total 50

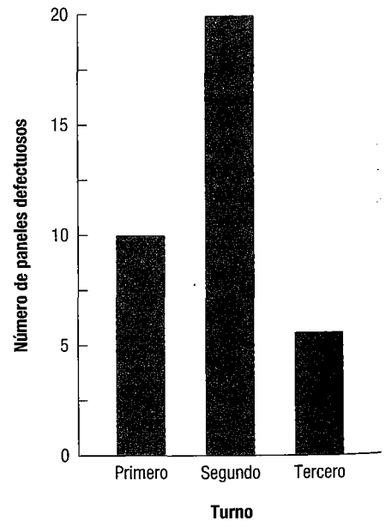
Paso 2. Gráfica de Pareto



Paso 3. Diagrama causa-efecto



Paso 4. Gráfica de barras



▲ **FIGURA 4.13**
Aplicación de las herramientas para mejorar la calidad

SOLUCIÓN

La figura 4.13 muestra la aplicación secuencial de varias herramientas para mejorar la calidad.

Paso 1. Una lista verificación de los diferentes tipos de fallas del proceso se elaboró a partir de los registros de producción del mes pasado.

Paso 2. Una gráfica de Pareto preparada a partir de los datos de la lista de verificación indicó que el panel de fibra defectuoso representaba 72% de las fallas del proceso.

Paso 3. Un diagrama de causa-efecto para el panel de fibra defectuoso identificó varias causas potenciales del problema. La que más sospechó el administrador fue de la capacitación de los empleados.

Paso 4. El administrador reorganizó los reportes de producción como una gráfica de barras de acuerdo con los turnos, porque el personal de los tres turnos tenía niveles de experiencia diferentes.

PUNTO DE DECISIÓN

La gráfica de barras indicó que el segundo turno, con la fuerza de trabajo menos experimentada, tenía el mayor número de fallas. Una investigación más profunda reveló que los trabajadores no estaban usando los procedimientos adecuados para apilar los paneles después de la operación de la prensa, lo que ocasionaba las rupturas o astillamientos. El administrador estableció sesiones adicionales de capacitación enfocadas al manejo de los paneles. Aunque el segundo turno no era responsable de todas las fallas del proceso, encontrar la fuente de muchas de ellas permitió al administrador mejorar el desempeño de sus operaciones.

Después de la sesión de lluvia de ideas, el equipo de diseño pasa a la etapa de "hacerlo realidad": evalúan las distintas ideas. El equipo identifica los cambios más redituables para el rediseño del proceso. El rediseño incluye aspectos de capacidad, distribución, tecnología e incluso localización; todo esto se estudia con más detalle en los siguientes capítulos.

El rediseño del proceso se documenta una vez más, esta vez como la vista de "después" del proceso. Los pagos esperados se estiman con cuidado, lo mismo que los riesgos. Para los cambios que implican inversiones, se considera el valor del dinero en el tiempo (vea el suplemento F, "Análisis financiero", de MyOMLab). El impacto en las personas (habilidades, grado de cambio, requerimientos de capacitación y resistencia al cambio) también debe ser un factor en la evaluación del nuevo diseño.

MyOMLab

La práctica administrativa 4.1 describe cómo el Baptist Memorial Hospital analizó los procesos para resolver este problema de capacidad y mejorar la satisfacción del paciente sin agregar nuevos recursos.

Punto de comparación (*benchmarking*)

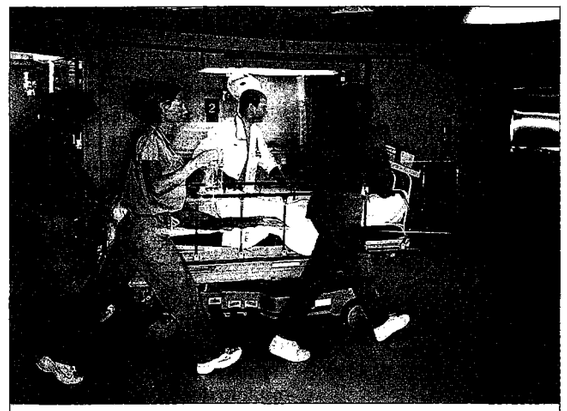
punto de comparación (*benchmarking*)
Procedimiento sistemático que mide los procesos, servicios y productos de una empresa contra los de los líderes en la industria.

La técnica de **punto de comparación** puede ser otra fuente valiosa para el rediseño del proceso, ya que es un procedimiento sistemático que mide los procesos, servicios y productos de una empresa contra los de los líderes de la industria. Las compañías utilizan puntos de comparación para comprender mejor la manera en que hacen las cosas las compañías sobresalientes para mejorar sus propios procesos.

PRÁCTICA ADMINISTRATIVA 4.1 Baptist Memorial Hospital

El Baptist Memorial Hospital de Memphis es un hospital de cuidados terciarios con 760 camas. Tenía problemas de capacidad, o así parecía, ya que habitualmente la ocupación excedía 90%. Sin embargo, solucionó su problema mejorando el proceso, en lugar de añadir personal y camas. Administración, enfermeras y doctores centralizaron las asignaciones de camas y agregaron un sistema de rastreo con la información de camas en tiempo real. Se enfocaron en mejorar los procesos en el departamento de urgencias (DU). Una unidad de admisión exprés (UAE), un área de 21 camas dedicada que procesa admisiones directas y del departamento de urgencias se abrió para eliminar la responsabilidad de una actividad particularmente intensa en tiempo de la atareada unidad de enfermeras. Los nuevos procesos eran menos divergentes y tenían más bien un flujo en línea. Luego comenzaron a probar ideas para mejorar el proceso haciendo cambios a pequeña escala, alterando los procesos para mejorarlos y dispersando los procesos a otras áreas cuando tenían éxito. También comenzaron a enviar por fax reportes del DU a la unidad de recepción, cambiaron los turnos de más enfermeras para trabajar durante los periodos pico, iniciaron procedimientos de diagnóstico de laboratorio y rayos X en el área de recepción, cuando el DU estaba a toda su capacidad, llevaron pacientes directamente a una habitación cuando había una disponible con registro de cama y dividieron la población de cuidados urgentes dentro del DU.

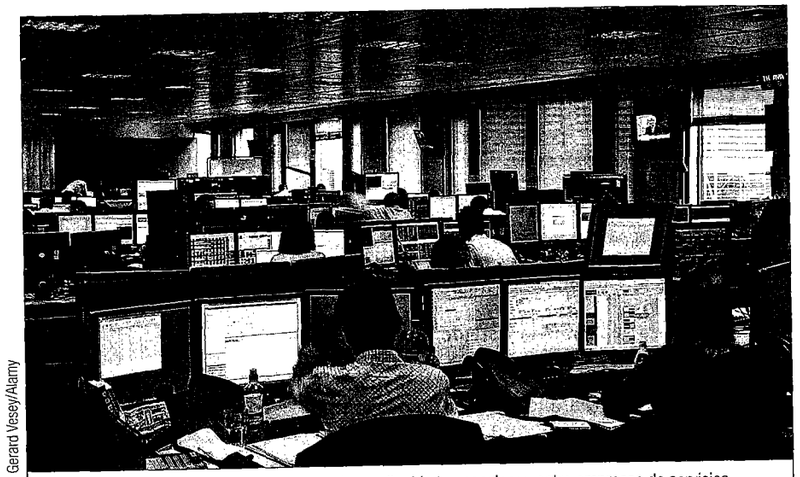
Los procesos rediseñados redujeron los retrasos de pacientes. El tiempo total de estancia en el DU se redujo 9%, aun cuando el volumen del DU aumentaba. El tiempo de estancia se redujo en dos días, el equivalente a construir 12 camas de la unidad de cuidado intensivo (UCI). La tasa de mortalidad bajó, el volumen aumentó 20% y la satisfacción del paciente mejoró en forma significativa. Lo que al principio parecía un problema de capacidad se resolvió sin aumentar personal o camas, y se resolvió con el rediseño de procesos.



Ryan McVay/Digital Vision/Getty Images

El Baptist Memorial Hospital en Memphis, Tennessee, realiza "juntas de grupo" por lo menos tres veces al día, buscando mejorar los procesos. En esas juntas se reúnen el supervisor del hospital, el supervisor de limpieza y las enfermeras clave. Las mejoras han sido drásticas. En 2011, el hospital estaba calificado en el 5% más alto nacional para urgencias médicas.

Fuente: Suzanne S. Horton, "Increasing Capacity While Improving the Bottom Line", *Frontiers of Health Services Management*, vol. 20, núm. 4 (verano, 2004), pp. 17-23; Richard S. Zimmerman, "Hospital Capacity, Productivity, and Patient Safety–It All Flows Together", *Frontiers of Health Services Management*, vol. 20, núm. 4 (verano, 2004), pp. 33-38, baptistonline.org, abril, 2011.



Gerard Vesey/Alamy

Omgeo es una compañía atrás del escenario que liquida transacciones entre empresas de servicios financieros. El proceso que utiliza incluye docenas de faxes, telefaxes y llamadas telefónicas por un costo típico de $10 a $12. Ahora bien, el proceso cuesta solo de 20 centavos a $1 por transacción —y los administradores de inversiones en esencia obtenían el servicio gratis—. Un cambio clave fue utilizar Internet y nuevas soluciones de tecnología de la información. La información va a una base de datos central a la cual el corredor, el gerente de inversiones y los custodios de los bancos tienen acceso en tiempo real. Los detalles de estas transacciones se comparan automáticamente para eliminar los errores.

El punto de comparación se centra en establecer metas cuantitativas para el mejoramiento. El punto de comparación *competitivo* se basa en comparaciones con un competidor directo de la industria. El punto de comparación *funcional* compara áreas como administración, servicio al cliente y operaciones de ventas con los de las compañías sobresalientes en una industria. Por ejemplo, Xerox comparaba su función de distribución contra L.L. Bean's porque es reconocido como el líder de ventas en cuanto a eficiencia en la distribución y servicio al cliente.

El punto de comparación *interno* incluye utilizar una unidad organizacional con desempeño superior como el punto de comparación para otras unidades. Esta forma de punto de comparación puede ser ventajosa para empresas que tienen varias unidades o divisiones de negocios. Todas las formas de punto de comparación se aplican mejor en situaciones en las que se busca un programa de mejoramiento continuo a largo plazo.

Las medidas típicas en el punto de comparación incluyen costo por unidad, molestias de servicio (descomposturas) por cliente, tiempo de procesamiento por unidad, retorno sobre la inversión y niveles de satisfacción del cliente.

El punto de comparación consiste en cuatro pasos básicos:

Paso 1. *Planeación.* Identificar el proceso, servicio o producto para compararlo y las empresas que se usarán en la comparación; determinar las métricas de desempeño para el análisis; recolectar datos.

Paso 2. *Análisis.* Determinar la diferencia entre el desempeño actual de la compañía y el de las empresas comparadas; identificar las causas de diferencias significativas.

Paso 3. *Integración.* Establecer metas y obtener el apoyo de los administradores que deben proporcionar los recursos para lograr las metas.

Paso 4. *Acción.* Desarrollar equipos multifuncionales entre los más afectados por los cambios; desarrollar planes de acción y asignaciones de equipos; implementar los planes; monitorear el avance; recalibrar los puntos de comparación conforme se realicen las mejoras.

Recolectar datos de punto de comparación puede ser un reto. Los datos de punto de comparación interno son sin duda los más accesibles. Siempre se dispone de una manera de comparar; rastrear el desempeño de un proceso en el tiempo. Los datos funcionales de punto de comparación con frecuencia los reúnen asociaciones profesionales o empresas de consultoría. Varias corporaciones y organizaciones gubernamentales han acordado compartir y estandarizar las marcas del desempeño. La American Productivity and Quality Center, una organización no lucrativa, creó miles de medidas, como lo ilustra la figura 4.14. Un rango completo de métricas se presenta en **www.apqc.org**. Otra fuente es el Consejo de la Cadena de suministro, que ha definido métricas clave en su modelo de referencia Supply-Chain Operations Reference (SCOR) (vea el capítulo 12, "Integración de la cadena de suministro").

Administración e implementación de procesos

La falla en la administración de procesos es una falla en la administración de negocios. La implementación de los hermosos procesos rediseñados es solo el inicio de los procesos de supervisión y mejoramiento continuos. Las metas con las métricas deben evaluarse de manera continua y restablecerse para ajustarse a los requerimientos cambiantes. Evite los siguientes errores al administrar procesos.[2]

1. *No conectarse con los aspectos estratégicos.* ¿Se está dando la atención particular a los procesos centrales, prioridades competitivas, impacto del contacto con el cliente y el volumen y el ajuste estratégicos durante el proceso de análisis?

[2] Geary A. Rummier y Alan P. Brache, *Improving Performance*, 2a ed. (San Francisco: Jossey-Bass, 1995), pp. 126-133.

Proceso de relación con el cliente

- Costo total de "entrar, procesar y rastrear órdenes" por $1,000 de ingreso.
- Costo del sistema de procesos por $1,000 de ingreso.
- Valor de órdenes de ventas no satisfechas debido a faltantes, como porcentaje de ingresos.
- Porcentaje del valor de venta de producto terminado que se regresa.
- Tiempo promedio de la recepción de una orden hasta que se notifica a manufactura o logística.
- Tiempo promedio en contacto directo con el cliente por orden de ventas.
- Energía consumida en transportar el artículo.
- Distancia total recorrida por los productos.
- Emisiones de gases de invernadero.

Proceso de satisfacción de órdenes.

- Valor de envíos de la planta por empleado.
- Rotación de inventario de productos terminados.
- Tasa de rechazo como porcentaje del total de órdenes procesadas.
- Porcentaje de órdenes que regresa el cliente por problemas de calidad.
- Tiempo de espera estándar del cliente desde colocar la orden hasta el envío.
- Porcentaje de órdenes enviadas a tiempo.
- Utilización de fuentes de energía no renovables.
- Utilización de ingredientes tóxicos.
- Entorno de trabajo seguro y saludable.

Proceso de desarrollo de nuevo servicio/producto.

- Porcentaje de venta debido a servicio/producto lanzado el año pasado.
- Costo del proceso de "generar nuevos servicios/productos" por $1,000 de ingreso.
- Razón entre los proyectos que entran al proceso y los proyectos que lo terminan.
- Tiempo para comercializar un proyecto de mejora a servicios/productos existentes.
- Tiempo para comercializar un proyecto de nuevos servicios/productos.
- Tiempo para obtener rendimiento de proyectos de mejora de servicios/productos existentes.

Proceso de relación con el proveedor

- Costo del proceso de "seleccionar proveedores y mantener contratos" por $1,000 de ingreso.
- Número de empleados por $1,000 de compras.
- Porcentaje de órdenes de compras aprobadas electrónicamente.
- Tiempo promedio para colocar una orden de compra.
- Número total de vendedores activos por $1,000 de compras.
- Porcentaje del valor de materiales comprados que el proveedor certifica.
- Cantidad de químicos tóxicos utilizados en suministros del proceso de producción.
- Energía consumida en transportar materias primas y partes.
- Distancia total recorrida para materias primas y partes.
- Emisiones de gases de invernadero.
- Utilización de químicos tóxicos por el proveedor en proceso de producción.
- Porcentaje de mano de obra infantil utilizada por el proveedor.

Proceso de apoyo

- Costo del sistema de la función financiera por $1,000 de ingreso.
- Porcentaje de personal financiero dedicado a auditoría interna.
- Costo total de procesos de nómina por $1,000 de ingresos.
- Número de trabajos aceptados como porcentaje de trabajo ofrecidos.
- Costo total del proceso "fuente, reclutamiento y selección" por $1,000 de ingreso.
- Tasa promedio de rotación de empleados.

◀ **FIGURA 4.14**
Métricas ilustrativas de punto de comparación por tipo de proceso

2. *No involucrar a las personas idóneas de la manera correcta.* ¿El proceso de análisis involucra a las personas que realizan el proceso o a las que tienen una conexión estrecha con él como clientes y proveedores internos?
3. *No dar a los equipos de diseño y a los analistas de procesos una dirección clara y después hacerlos responsables.* ¿La administración establece expectativas para el cambio y mantiene presión para obtener resultados? ¿Permite que los esfuerzos de mejoramiento se paralicen exigiendo análisis excesivos?
4. *No quedar satisfecho a menos que se hagan cambios fundamentales de "reingeniería".* ¿La expectativa es un cambio radical mediante la reingeniería de procesos? Si es así, se perdería el efecto acumulado de muchas mejoras pequeñas que pueden hacerse de manera incremental. Los esfuerzos de la administración de procesos no deben limitarse a la reducción de personal o la reorganización, aun cuando puedan eliminarse puestos de trabajo o cambiarse estructuras. No deben limitarse a grandes proyectos de innovación tecnológica, aunque con frecuencia ocurran cambios tecnológicos.

5. *No tomar en cuenta el impacto sobre las personas.* ¿Están los cambios alineados con las actitudes y habilidades de las personas que deben implementar el proceso rediseñado? Es crucial comprender y manejar el *lado de las personas* en los cambios de los procesos.
6. *No poner atención en la implementación.* ¿Se rediseñan los procesos y nunca se ponen en marcha? Un gran trabajo con diagramas de flujo y puntos de comparación solo es de interés académico si no se implementa. Se requieren prácticas administrativas de proyectos que tengan sentido.
7. *No crear infraestructura para el mejoramiento continuo de los procesos.* ¿Existe un sistema de medición para monitorear las métricas clave en el tiempo? ¿Alguien está verificando si se están obteniendo los beneficios anticipados reales de un proceso de rediseño?

Los administradores deben asegurarse de que su organización detecte nuevas diferencias en el desempeño, en la búsqueda continua de mejoras de procesos. Los esfuerzos de rediseño de procesos deben ser parte de revisiones periódicas e incluso planes anuales. La medición es el tema del siguiente capítulo. Cubre cómo un sistema de rastreo del desempeño es la base para la retroalimentación y el mejoramiento. La esencia de una organización que aprende es el uso inteligente de esa retroalimentación.

REPASO DE LAS METAS DE APRENDIZAJE

1. **Explicar una forma sistemática para analizar procesos.** La sección "Enfoque sistemático", pp. 121-123 presenta seis pasos para el análisis. Observe en la figura 4.1 la secuencia de estos pasos.
2. **Definir diagramas de flujo, diagramas de flujo en carriles y planos de servicios.** La sección "Documentación del proceso", pp.123-127, muestra estas tres técnicas para documentar y evaluar procesos. Se puede usar más de un diagrama de flujo para manejar procesos anidados. Los planos de servicios muestran la línea de visibilidad cuando hay contacto con el cliente.
3. **Describir las diferentes técnicas de medición del trabajo.** El método de estudio de tiempos, el enfoque de datos estándar elementales, el enfoque de datos predeterminados, el método de muestreo del trabajo y el análisis de la curva de aprendizaje se describe brevemente en la sección "Técnicas de medición de trabajo". pp. 127-129. Una descripción más completa se encuentra en el suplemento H, "Medición de tasas de salida" en MyOMLab.
4. **Identificar las métricas para evaluación de procesos.** La sección "Evaluación del desempeño", p. 131, identifica una variedad de medidas de desempeño. La figura 4.9 las separa según su relación con los capítulos restantes de la parte 2.
5. **Describir gráficas de Pareto, diagramas de causa-efecto y simulación del proceso.** Estas técnicas se describen en la sección "Herramientas para análisis de datos", pp. 132-135, y ayudan a comprender las causas de las diferencias en el desempeño. La simulación del proceso es una herramienta más avanzada, descrita con más detalle en el suplemento E de MyOMLab.
6. **Crear mejores procesos usando puntos de comparación (*benchmarking*),** pp. 137-138, sea funcional, interno o competitivo, es un *procedimiento sistemático que mide los procesos o productos* de una empresa contra los de otras. La figura 4.14 proporciona un arreglo de métricas que se puede usar, dependiendo del proceso que se evalúa.
7. **Identificar claves para la administración efectiva de procesos.** La sección "Administración e implementación de procesos", pp. 138-139, presenta siete errores que se suelen cometer. Debe existir una búsqueda continua de mejoras a los procesos.

MyOMLab ayuda a desarrollar habilidades analíticas y evalúa su avance con los múltiples problemas acerca de diagramas de proceso, tiempos estándar, curvas de aprendizaje, gráficas de barras, diagramas de dispersión, gráficas de Pareto e histogramas.

Recursos de MyOMLab	Títulos	Vínculos con el libro
Videos	*Análisis de proceso en Starwood*	Todo el capítulo
Modelo activo	4.1. Gráfica de Pareto	Ejercicio de modelo activo: 4.1. Gráfica de Pareto; Evaluación del desempeño; ejemplo 4.2 (pp.132-133); ejemplo 4.4 (pp. 135-137)
Solucionadores de OM Explorer	Gráficas de proceso Gráficas de barras, Pareto y en carrriles	Documentación del proceso; figura 4.8 (p. 130) Evaluación del proceso; ejemplo 4.2 (pp. 132-133); ejemplo 4.4 (pp. 135-137)
Tutores de OM Explorer	4.1 Gráficas de proceso 4.2 Gráficas de Pareto	Gráficas de proceso: figura 4.8 (p.130); problema resuelto 2 (pp. 142-143) Evaluación de desempeño; ejemplo 4.2 (pp. 132-133); ejemplo 4.4 (pp. 135-137)
Ejercicios de tutores de OM Explorer	4.1 Grafica de proceso de su elección 4.2 Gráfica de Pareto	Documentación del proceso: figura 4.8 (p. 130) Evaluación del desempeño; ejemplo 4.2 (pp. 132-133); ejemplo 4.4 (pp.135-137)

Recursos de MyOMLab	Títulos	Vínculos con el libro
Tutores de diagramas de flujo	4.1 Diagramas de flujo en Excel 4.2 Diagramas de flujo en PowerPoint 4.3 Diagramas de flujo en vivo para las figuras 4.2 y 4.3	Documentación del proceso Documentación del proceso Documentación del proceso
SmartDraw	A menudo se usa en la práctica para crear diagramas de flujo	Obtenga la versión de prueba gratis en línea
Tours Virtuales	1. Anrosia y Hershey Foods Corporation	Ajuste estratégico
Suplementos de MyOMLab	F. Análisis financiero H. Medición de tasas de salida I. Análisis de curvas de aprendizaje	Rediseño del proceso Técnicas de medición del trabajo Análisis de curvas de aprendizaje
Ejercicios en Internet	1. Papelería BIC, encendedores BIC, rasuradoras BIC 2. Fender Guild Guitars	Documentación del proceso Punto de comparación
Caso adicional	Problema de las instalaciones de mantenimiento en Midwest University	Todo el capítulo
Ecuaciones clave		
Biblioteca de imágenes		

Términos clave

análisis del proceso 121
curva de aprendizaje 129
datos estándar elementales 127
diagrama causa-efecto 133
diagrama de *dispersión* 133
diagrama de flujo 123
diagrama de *flujo en carriles* 125
diagrama del proceso 129
enfoque de datos predeterminados 128
equipo de diseño 122
estudio del tiempo 127
falla del proceso 132
gráfica de barras 132
gráfica de Pareto 132
gráficas 134
histograma 132
lista de verificación 132
lluvia de ideas 135
métricas 122
muestreo del trabajo 128
plano de servicio 126
punto de comparación (*benchmarking*) 137
simulación del proceso 135
sistema de sugerencias 122

Problema resuelto 1

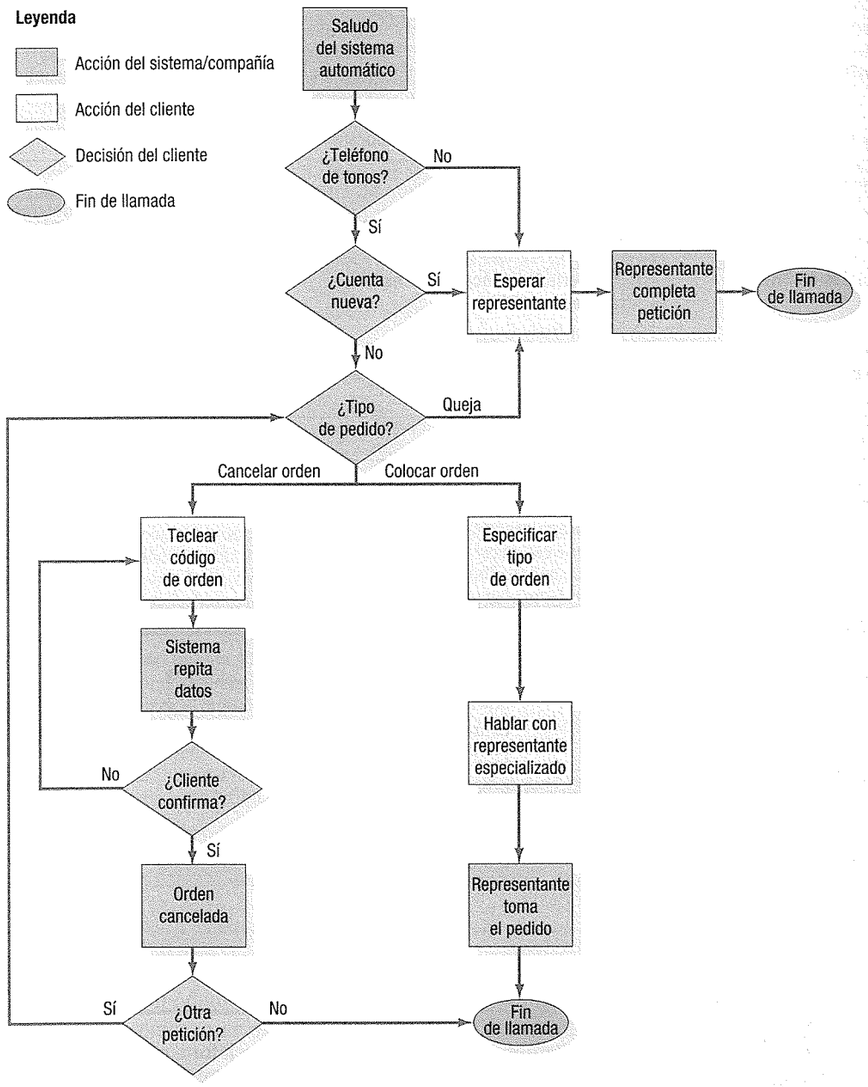
Elabore un diagrama de flujo para el siguiente proceso de ordenar por teléfono en una cadena de tiendas que se especializa en libros y CD de música. Además de las ventas normales en las tiendas, proporciona un sistema para ordenar vía telefónica a sus clientes que disponen de poco tiempo.

Primero, el sistema automático saluda al cliente e identifica si tiene teléfono de tonos o de pulsos. Los clientes digitan el número 1 *si tienen teléfono de tonos; de lo contrario,* esperan al primer representante de servicio disponible para procesar su pedido. Si los clientes tienen teléfono de tonos, completan su pedido eligiendo opciones en el teléfono. El sistema verifica si el cliente tiene una cuenta. Los clientes eligen 1 si la tienen o 2 si quieren abrir una. Los clientes esperan al representante para abrir la nueva cuenta si eligen la opción 2.

Luego, el cliente elige entre las opciones para hacer un pedido, cancelar una orden o hablar con un representante si tiene preguntas o quejas. Si el cliente elige colocar una orden, especifica el tipo de orden como libro o CD y un representante especializado en lo que eligió toma la llamada para obtener los detalles de la orden. Si el cliente quiere cancelar una orden, espera la respuesta automática. Tecleando el código de la orden en el teléfono, el cliente puede cancelarla. El sistema automático dice el nombre del artículo ordenado, luego el sistema cancela la orden; de otra manera, el sistema pide al cliente que teclee el código de nuevo. *Después de responder a esto, el sistema* pregunta si el cliente tiene alguna otra petición; si no, el proceso termina.

SOLUCIÓN
La figura 4.15 muestra el diagrama de flujo.

FIGURA 4.15 ▶
Diagrama de flujo para el proceso de pedidos por teléfono



Problema resuelto 2

Un taller de servicio tiene problemas para hacer los cambios de aceite en los 29 minutos o menos mencionados en su publicidad. Analice el proceso de cambio de aceite en automóviles. El sujeto de estudio es el mecánico de servicio. El proceso comienza cuando el mecánico dirige la llegada del cliente y termina cuando el cliente paga por los servicios.

SOLUCIÓN
La figura 4.16 muestra el diagrama del proceso completo. El procedimiento está desglosado en 21 pasos. Un resumen de los tiempos y distancias recorridas se muestra en la esquina superior derecha del diagrama.

Los tiempos suman 28 minutos, esto no da lugar para errores si la garantía de 29 minutos ha de cumplirse y el mecánico recorre un total de 420 pies.

Proceso: Cambio de aceite
Sujeto: Mecánico
Inicio: Dirigir llegada del cliente
Terminación: Cargos totales, recibir pago

Insertar paso
Anexar paso
Eliminar paso

Resumen

Actividad	Número de pasos	Tiempo (min)	Distancia (pies)
Operación ●	7	16.50	
Transporte ➡	8	5.50	420
Inspección ■	4	5.00	
Retraso ◗	1	0.70	
Almacenar ▼	1	0.30	

Paso núm.	Tiempo (min)	Distancia (pies)	●	➡	■	◗	▼	Descripción del paso
1	0.80	50.0		X				Dirigir al cliente al área de servicio
2	1.80		X					Registrar nombre y servicio deseado
3	2.30				X			Abrir tapa de motor, verificar tipo de motor, inspeccionar mangueras, verificar fluidos
4	0.80	30.0		X				Caminar hacia el cliente en área de espera
5	0.60		X					Recomendar servicio adicional
6	0.70					X		Esperar decisión del cliente
7	0.90	70.0		X				Caminar al almacén
8	1.90		X					Buscar número de filtro(s), encontrar filtro(s)
9	0.40				X			Verificar número de filtro(s)
10	0.60	50.0		X				Llevar filtros la fosa de servicio
11	4.20		X					Realizar servicios abajo del vehículo
12	0.70	40.0		X				Subir y caminar al vehículo
13	2.70		X					Llenar el depósito de aceite, arrancar el motor
14	1.30				X			Inspeccionar fugas
15	0.50	40.0		X				Caminar a la fosa
16	1.00				X			Inspeccionar fugas
17	3.00		X					Limpiar y organizar el área de trabajo
18	0.70	80.0		X				Regresar al vehículo, manejar fuera del área de servicio
19	0.30						X	Estacionar el vehículo
20	0.50	60.0		X				Caminar al área de espera
21	2.30		X					Cargos totales, recibir pago

◀ **FIGURA 4.16**
Diagrama del proceso para el cambio de aceite

Problema resuelto 3

¿Qué mejoras puede hacer al proceso mostrado en la figura 4.16?

SOLUCIÓN
Su análisis debe verificar las siguientes tres ideas de mejoras. También puede proponer otras opciones.

a) **Mover el paso 17 al paso 21**. Los clientes no deberían esperar mientras el mecánico limpia el área de trabajo.

b) **Almacenar pequeños inventarios de filtros de uso frecuente en la fosa**. Los pasos 7 a 10 contienen recorridos hacia y desde el almacén. Si los filtros se mueven a la fosa, también se coloca una copia del material de referencia. La fosa tendrá que estar organizada y tener buena luz.

c) **Utilizar dos mecánicos**. Los pasos 10, 12, 15 y 17 incluyen subir y bajar los escalones de la fosa. Una buena parte de estos recorridos se pueden eliminar. El tiempo de servicio se reduciría si un mecánico trabaja en la fosa mientras que otro trabaja en el motor.

Problema resuelto 4

Vera Johnson y Merris Williams fabrican una crema que se absorbe. Su proceso de empaque tiene cuatro pasos: **1.** mezclar, **2.** llenar, **3.** tapar y **4.** etiquetar. Ellas hicieron analizar el proceso, y los resultados mostraron lo siguiente:

Falla del proceso		Frecuencia
Grumos de producto sin mezclar		7
Frascos muy llenos o poco llenos		18
Tapas de frascos que no sellan		6
Etiquetas arrugadas o faltantes		29
	Total	60

Dibuje un diagrama de Pareto para identificar las fallas vitales.

SOLUCIÓN

Las etiquetas defectuosas son responsables de 48.33% del número total de fallas:

$$\frac{29}{60} \times 100\% = 48.33\%$$

Los frascos con llenado inadecuado dan cuenta de 30% del número total de fallas:

$$\frac{18}{60} \times 100\% = 30.00\%$$

El porcentaje acumulado para las dos fallas más frecuentes es

$$48.33\% + 30.00\% = 78.33\%$$

Los grumos representan $\frac{7}{60} \times 100\% = 11.67\%$ de las fallas; el porcentaje acumulado es

$$78.33\% + 11.67\% = 90.00\%$$

Los sellos defectuosos representan $\frac{6}{60} \times 100\% = 10\%$ de las fallas; el porcentaje acumulado es

$$10\% + 90\% = 100.00\%$$

El diagrama de Pareto se muestra en la figura 4.17.

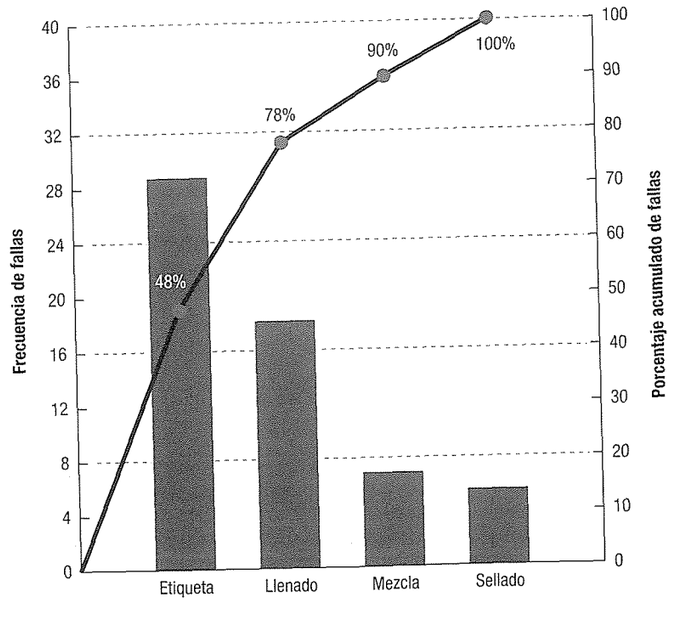


FIGURA 4.17 ▶
Diagrama de Pareto

Preguntas para análisis

1. El mejoramiento continuo reconoce que muchas pequeñas mejoras suman beneficios cuantiosos. ¿La mejora continua puede llevar a una compañía del fondo de la industria a la cima? Explique.
2. La Hydro-Electric Company (HEC) tiene tres fuentes de energía. Una pequeña cantidad de potencia hidroeléctrica se genera por ríos escénicos de corriente fuerte que llegan a una presa; la segunda fuente proviene de quemar carbón, con emisiones que crean lluvia ácida y contribuyen al calentamiento global; la tercera fuente de energía viene de fisión nuclear. Las plantas de carbón de HEC usan tecnología obsoleta en cuanto al control de la contaminación y se requiere una inversión de varios cientos de millones de dólares para actualizarla. Los ambientalistas presionan a HEC en la promoción de la conservación para que compre energía a proveedores que usan los combustibles y tecnología más limpios.

   Sin embargo, HEC ahora padece ventas decrecientes, cuyo resultado es miles de millones de dólares invertidos en equipo ocioso. Sus clientes grandes están aprovechando las leyes que les permiten comprar energía a proveedores de bajo precio. HEC debe cubrir los costos fijos de la capacidad ociosa elevando sus tarifas a los clientes que le quedan o enfrentar la falta de pago de bonos (bancarrota). Las tasas más altas motivan a más clientes a buscar proveedores con precios más bajos, el inicio de una muerte en espiral para HEC. Para prevenir otros aumentos, HEC pone en marcha un programa para bajar costos y deja pendientes sus planes para actualizar el control de la contaminación.

   Formen equipos y discutan los aspectos y los intercambios asociados éticos, ambientales y políticos de la estrategia de HEC.
3. Paul O'Neill, antes secretario de la Tesorería de Estados Unidos, estima que la mitad, discutible, de los $2 billones anuales que los estadounidenses gastan en el cuidado de la salud son un desperdicio innecesario. Realicen una lluvia de hasta 10 ideas para resolver los problemas siguientes:

   a) Una farmacia típica gasta 20% de su tiempo en el teléfono con doctores, intentando descifrar qué prescribe en una receta.

   b) Después de que la persona responsable de surtir la receta determina lo que piensa que se supone que debe hacer, puede cometer errores al surtirla. Por ejemplo, poner una dosis de adulto (en lugar de la dosis de bebé) de Heparin en una intravenosa para un bebé sería fatal.

   c) Los medicamentos se distribuyen en un hospital por lotes. Por ejemplo, los carritos pueden llenarse los lunes, miércoles y viernes. Un gran volumen de ellos puede regresar el lunes por no haberse consumido entre viernes y lunes, debido a que las condiciones de los pacientes cambiaron o el doctor decidió una intervención diferente. Un técnico pasa el resto el día reacomodando las repisas con los medicamentos devueltos y 40% del material intravenoso preparado el viernes en la mañana se tira por el desagüe.

   d) Algunas veces, la administración de la medicina no se realizó en el horario acordado porque las enfermeras estaba ocupadas con algo más.

   e) Por cada cama en el sistema de cuidado intensivo de un hospital, alguien se cae durante el año. La mayor parte de las caídas ocurren después de las 11 p.m y antes de las 6 a.m. Este tipo de accidentes pueden derivar en la fractura de un hueso y con la correspondiente inmovilización, con una posible neumonía.

   f) Una de cada 14 personas que van a un hospital en Estados Unidos adquiere una infección que no tenía al llegar.

Problemas

El OM Explorer y POM para Windows están disponibles para todos los estudiantes de la décima edición de este libro. Vaya a **www.pearsonhighered.com/krajewski** para bajar estos paquetes de computadora. Si compró MyOMLab, también tiene acceso al software de modelos activos y mucha ayuda para resolver los problemas siguientes. Verifique con su instructor la mejor manera de usar estos recursos. En muchos casos, el instructor le pedirá que comprenda cómo se hacen los cálculos a mano. Por lo menos, el software proporciona una verificación de sus cálculos. Cuando los cálculos son muy complejos y la meta es interpretar los resultados al tomar una decisión, el software sustituye por completo los cálculos manuales.

1. Considere el caso de Custom Molds, Inc. al final del capítulo 3, "Estrategia de procesos". Prepare un diagrama de flujo del proceso de producción de moldes y del proceso de manufactura de partes, mostrando cómo se relacionan. Un buen tutor para crear los diagramas de flujo se encuentra en **http://www.hci.com.au/hcisite5/library/materials/Flowcharting.htm**. Además verifique el tutor de diagramas de flujo en Excel de MyOMLab.
2. Resuelva el problema 1 usando una hoja de gráfica de procesos con diseño propio, una que difiera del Solucionador de *Diagramas de procesos* en OM Explorer. Debe tener una o más columnas para registrar información o las métricas que piense que son relevantes, sean de contacto con el cliente externo, retrasos, tiempos de terminación, costos, capacidad y tasas de demanda. Sus elementos muestran qué información ha de recolectar, aun cuando parte de ellos esté disponible en el caso.
3. La ABC, fundada en 1970, es una de las compañías de seguros más grandes del mundo, con oficinas en 28 países. De acuerdo con la siguiente descripción, prepare un diagrama de flujo de procesos para establecer nuevas políticas, tomando en consideración las de 1970:

   Los clientes individuales que querían establecer una nueva política visitaban una de las 70 sucursales o hacían contacto con un agente. Después llenaban una solicitud y algunas veces incluían un cheque. La sucursal enviaba el paquete de la solicitud por el correo de la compañía a la división XYZ en Londres. Además, un cliente también podía llenar la solicitud en su casa y enviarla directamente a cualquier número de oficinas de ABC, que después las transferían a la operación en Londres. Una vez recibida, XYZ separaba las diferentes partes de la solicitud, las escaneaba y digitalizaba. La imagen electrónica se recuperaba del servidor y se enviaba a la computadora de un asociado. El asociado era

responsable de introducir la información de la forma en la base de datos apropiada. Si la información proporcionada en la solicitud estaba completa, se imprimía una noticia de confirmación de manera automática y se enviaba al cliente. Si la información estaba incompleta, entonces otro asociado, capacitado para tratar con los clientes en el teléfono, llamaba al cliente para obtener la información adicional. Si el cliente notaba un error en la nota de confirmación que recibía, llamaba a un número de llamadas sin costo o enviaba una carta describiendo el problema. La División de solución de problemas con el cliente manejaba el problema en este punto. Una nota de confirmación actualizada se enviaba al cliente. Si la información estaba correcta, la transacción de la solicitud quedaba completa.

4. Resuelva el problema 3 usando una hoja de diagrama de proceso donde diseñe una diferente de la *gráfica del proceso* del *Solucionador* en OM Explorer. Debe tener una o más columnas para registrar información o métricas que piense deben recolectarse para analizar el proceso (vea el problema 2)

5. Prepare un diagrama de flujo de la división de servicio en campo en el DEF, como se describe enseguida. Comience en el punto en que se recibe una llamada y termina cuando un técnico completa el trabajo.

   El DEF era una compañía multimillonaria que fabricaba y distribuía una gran variedad de equipos electrónicos, fotográficos y reprográficos utilizados en muchas aplicaciones de ingeniería y sistemas médicos. La División de servicio en campo empleaba 475 técnicos de servicio, que realizaban mantenimiento y garantías al equipo vendido por el DEF. Los clientes podían llamar al Centro nacional de servicio (CNS), que recibía cerca de 3,000 llamadas por día. El CNS satifacía sus llamadas con cerca de 40 operadores. Una llamada típica se recibía en el CNS y se transfería a uno de los operadores, que capturaba la información sobre máquina, con el nombre de quien llamaba y el tipo de problema, registrándolo en la computadora central del DEF. En algunos casos, el operador intentaba ayudar al cliente a arreglar el problema. Sin embargo, los operadores actuales solo podían evitar cerca de 10% de las llamadas de servicio de mantenimiento urgentes. Si la llamada no se podía evitar, el operario decía lo siguiente: "Dependiendo de la disponibilidad de nuestros técnicos, debe esperar la ayuda en algún momento entre ahora y (ahora 2X)". (X era el tiempo de respuesta meta basado en el número del modelo y la zona.) Esta información se daba a los clientes porque muchos deseaban saber cuándo llegaría el técnico.

   Los operadores introducían la información de la llamada en el sistema de computadoras del DEF, que luego la enviaba vía electrónica al centro de despacho regional asignado a la localización del cliente. (El DEF tenía cuatro centros regionales de despacho con cerca de 20 despachadores en total). La información de la llamada de servicio se imprimía en una tarjeta en el centro de despacho. Cada hora las tarjetas se sacaban de la impresora y se entregaban al despachador asignado al lugar. El despachador colocaba cada tarjeta en un pizarrón magnético abajo del nombre del técnico que el despachador creía que era el candidato más probable para el servicio, según la localización de la máquina, el lugar donde se encontraba el técnico y el perfil de capacitación del técnico. Después de terminar un servicio, los técnicos llamaban al despachador del centro regional, daban por terminada su visita y el despachador les daba su nueva asignación. Cuando recibía la asignación de servicio, el técnico llamaba al cliente para darle un tiempo esperado de llegada, manejaba al sitio, diagnosticaba el problema, reparaba la máquina si contaba con las partes en su camioneta y luego llamaba al despachador para recibir su siguiente asignación. Si el técnico no tenía las refacciones correctas para la reparación, el técnico informaba al CNS y la parte se enviaba por correo exprés al cliente; la reparación se hacía la mañana siguiente.

6. Big Bob's Burger Barn quiere describir gráficamente la interacción entre su clientes al ordenar y sus tres empleados. Los clientes entran al restaurante y comen ahí, en lugar de manejar a la ventanilla y comer en el automóvil. Utilice la breve descripción del proceso para desarrollar un plano del servicio.

   El empleado de la freidora: recibe la orden del cliente del empleado del mostrador, toma la comida sin cocinar, la pone en la freidora, envuelve la comida en un empaque especial y coloca los alimentos envueltos en el mostrador de servicio.

   El empleado de la parrilla: recibe la orden del cliente del empleado del mostrador, toma la comida sin cocinar, la coloca en la parrilla, elabora un emparedado con los condimentos solicitados y entrega el emparedado al empleado al del mostrador.

   El empleado del mostrador: toma la orden del cliente, trasmite las instrucciones adecuadas a los empleados de la freidora y la parrilla, recibe el pago, toma las bebidas, la comida envuelta, empaca la orden y la entrega al cliente.

7. Después de ver el video de *Opción de proceso en King Soopers Bakery* de MyOMLab, prepare un diagrama de flujo para los tres procesos en King Soopers. Encuentre más información sobre el proceso en *Big Picture* para el capítulo 3 que también está en MyOMLab.

8. Su clase entró como voluntaria para trabajar para el Referendo 13 en la votación de noviembre, que pide colegiatura y libros gratis para todos los cursos universitarios, excepto administración de operaciones. El apoyo al referendo incluye ensamblar 10,000 letreros (impresos en papel resistente al agua, que deben pegarse y engraparse en un palo de madera) un sábado de otoño. Construya un diagrama de flujo y un diagrama de proceso para el ensamblaje de los letreros. ¿Qué entradas en términos de materiales, esfuerzo humano y equipo deben incluirse? Estime la cantidad de voluntarios, grapas, pegamento, equipo, espacio de jardín y cochera, así como cuántas pizzas se requieren para alimentar a los integrantes del equipo.

9. Suponga que está a cargo de una larga lista de envíos de invitaciones por correo a los exalumnos de su universidad para pedirles que contribuyan a un fondo de becas. Se han puesto las direcciones individuales en cartas y sobres (no se usaron etiquetas de correo). Las cartas deben procesarse (unirse al sobre correspondiente, con un tiempo estimado de 0.2 minutos cada una), doblarse (0.12 minutos cada una) y deben meterse en el sobre correcto (0.10 minutos cada una). Después deben cerrarse (0.05 minutos cada uno) y colocarse una estampilla conmemorativa en la esquina superior derecha de cada sobre (0.10 minutos cada una).

   a) Elabore un diagrama de proceso para esta actividad, suponiendo que es una operación de una persona.

   b) Calcule cuánto tiempo tomará llenar, cerrar y poner estampillas para 2,000 sobres. Suponga que la persona que hace este trabajo gana $8 por hora. ¿Cuánto costará procesar las 2,000 cartas?

   c) Considere cada uno de los siguientes cambios en el proceso. ¿Qué cambios reducirán el tiempo y costo del proceso actual?

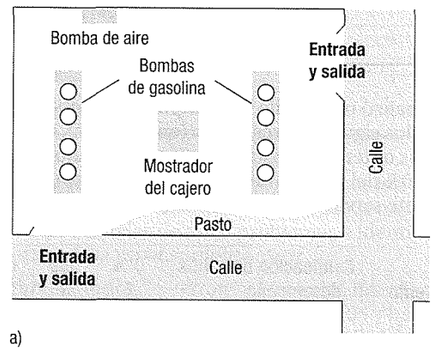
   - Cada carta tiene el mismo saludo "Querido exalumno(a)", en lugar del nombre de la persona.
   - Se usan etiquetas y tienen que pegarse en los sobres (0.10 minutos cada una).
   - Se usan sobres con estampillas puestas.
   - Se pone un sello de correo en un medidor postal que sella 200 sobres por minuto.
   - Se usan sobres con ventana.
   - Se incluye un sobre con la dirección con cada carta de petición (agrega 0.05 minutos al paso de llenar sobres).

   d) ¿Es probable que alguno de estos cambios reduzca la efectividad del envío? Si es así, ¿cuál o cuáles? y ¿por qué?

   e) ¿Es probable que los cambios que aumentan el tiempo y el costo incrementen la efectividad del envío? ¿Por qué sí o por qué no?

10. En la figura 4.18 *a*) y *b*) se muestran diagramas de dos gasolineras de autoservicio, ambas localizadas en esquinas. Ambas tienen dos filas de cuatro bombas y un mostrador en el que un empleado recibe el pago de la gasolina. En ninguna de las dos es necesario que el cliente pague por adelantado. Las salidas y entradas están marcadas en los diagramas. Analice los flujos de vehículos y personas a través de las gasolineras.

    a) ¿Cuál gasolinera tiene los flujos más eficientes desde el punto de vista del cliente?



▲ **FIGURA 4.18**
Dos gasolineras de autoservicio

   b) ¿Cuál gasolinera tiene más probabilidad de perder clientes potenciales que no pueden tener acceso a las bombas porque otro vehículo llega en otra dirección?

   c) ¿En cuál gasolinera un cliente paga sin salirse del vehículo?

11. La administración del restaurante Just Like Home le pide que analice algunos de sus procesos. Uno de ellos es servir un cono de helado de una bola. Los conos los puede ordenar un mesero (para servicio en las mesas) o un cliente (para llevar).

    La figura 4.19 ilustra el diagrama del proceso para esta operación.

    - El empleado del mostrador de helados gana $10 por hora (incluyendo prestaciones variables).
    - El proceso se realiza 10 veces por hora (en promedio).
    - El restaurante abre 363 días del año, 10 horas al día.

    a) Complete la parte del resumen (arriba a la derecha) del diagrama.

    b) ¿Cuál es el costo total asociado con el proceso?

    c) ¿Cómo puede ser más eficiente esta operación? Elabore un diagrama de proceso usando el Solucionador de *Diagramas de proceso* de OM Explorer del proceso mejorado. ¿Cuál es el ahorro anual de mano de obra si se implementa este nuevo proceso?

12. Como asistente de posgrado, sus obligaciones incluyen calificar las tareas y llenar los registros del curso de administración de operaciones. Cada semestre se ofrece cinco secciones de 40 estudiantes cada una. Unos cuantos estudiantes de posgrado asisten a las secciones 3 y 4. Ellos deben completar cierto trabajo adicional del estándar más alto para cada tarea. Todos los estudiantes entregan (o se supone que entregan) su tarea por abajo de la puerta de su oficina todos los martes. Su trabajo es corregir la tarea, registrar las calificaciones, clasificar las tareas por sección y por el apellido del estudiante en orden alfabético y regresarlas a los instructores correspondientes (no necesariamente en ese orden). Existen algunas complicaciones. Una mayoría de los estudiantes escribe su nombre legible, pero otros rubrican su trabajo con sus números de identificación y algunos no los identifican. Rara vez identifican su sección o su estatus de estudiantes de posgrado. Prepare una lista de los pasos del diagrama de proceso y colóquelos en una secuencia eficiente.

13. En el Departamento de vehículos de motor (DVM), el proceso de obtener las placas para su automóvil comienza cuando entra a la oficina y toma un número. Camina 50 pies hasta el área de espera. Durante la espera, cuenta cerca de 30 clientes esperando servicio. Observa que muchos clientes se desaniman y se van. Cuando dicen los números, si un cliente se levanta, una persona uniformada verifica el número y dirige al cliente hacia el empleado disponible. Si nadie se para, se pierden varios minutos repitiendo el número y casi siempre el cliente se ha ido. Al rato, llaman al siguiente número y muchas veces ese cliente tampoco está. El empleado del DVM ha estado ocioso varios minutos, pero no parece importarle.

    Después de cuatro horas dicen su número y la persona uniformada lo verifica. Usted camina 60 pies hasta el empleado y el proceso de pagar los impuestos de la ciudad termina en cuatro minutos. El empleado le pide que vaya al área de espera para pagar el impuesto estatal de

FIGURA 4.19 ▶
Diagrama de proceso para servir un cono de helado

Proceso: Servir un cono de helado
Sujeto: Empleado en el mostrador
Inicio: Caminar al área de helados
Terminación: Dar el cono al mesero o cliente

Insertar paso
Anexar paso
Eliminar paso

Resumen

Actividad	Número de pasos	Tiempo (min)	Distancia (pies)
Operación ●			
Transporte ➡			
Inspección ■			
Retraso ◗			
Almacenaje ▼			

Paso núm.	Tiempo (min)	Distancia (pies)	●	➡	■	◗	▼	Descripción del paso
1	0.20	5.0		X				Caminar al área de helados
2	0.05		X					Tomar un cono vacío
3	0.10	5.0		X				Caminar al mostrador
4	0.05		X					Colocar cono en sostenedor
5	0.20	8.0		X				Caminar al área de lavado
6	0.50					X		Pedir al ayudante que lave la cuchara de bola
7	0.15	8.0		X				Caminar al mostrador con cuchara limpia
8	0.05		X					Tomar un cono vacío
9	0.10	2.5		X				Caminar hacia el sabor ordenado
10	0.75		X					Servir el helado del contenedor
11	0.75		X					Colocar helado en cono
12	0.25				X			Verificar su estabilidad
13	0.05	2.5		X				Caminar al área de órdenes
14	0.05		X					Dar el cono al mesero o cliente

propiedad personal, a 80 pies de donde está. Toma otro número y se sienta con otros clientes que están renovando su licencia. Después de una espera de 1 hora 40 minutos y de caminar 25 pies paga los impuestos de propiedad en un proceso que toma dos minutos. Ahora que ya pagó, es elegible para pagar las cuotas de registro y placas. Ese departamento está a 50 pies, más allá de la cafetería de empleados.

Se llama a los clientes de registro y licencia en el orden en que pagaron los impuestos de propiedad personal. Hay una espera de solo 10 minutos y un proceso de tres minutos. Recibe sus placas, toma un minuto para quejarse con el empleado y deja el lugar seis horas después de su llegada.

Elabore un diagrama de proceso con el *Solucionador* de *Diagramas de proceso* en OM Explorer para describir este proceso y sugerir mejoras.

14. Consulte el diagrama de proceso para el cambio de aceite del problema resuelto 2. Calcule el costo anual de mano de obra si:

- El mecánico gana $40 por hora (incluyendo el costo variable de las prestaciones).
- El proceso se realiza dos veces por hora (en promedio).
- El taller está abierto 300 días al año, 10 horas al día.

a) ¿Cuál es el costo total de mano de obra asociado con el proceso?

b) Si se eliminaran los pasos 7, 10, 12 y 15, estime el ahorro anual de mano de obra asociado con la implementación del nuevo proceso.

15. Un estudio de tiempos de un empleado que ensambla válvulas cacahuate dio el siguiente conjunto de observaciones. ¿Cuál es el tiempo estándar, dada la calificación de desempeño de 95% y una tolerancia de 20% del tiempo normal total?

Tiempo promedio (segundos)	Observaciones
15	14
20	12
25	15

16. Se realizó un estudio de tiempo inicial sobre un proceso con los siguientes resultado (en minutos). Con base en los datos obtenidos hasta ahora y suponiendo una tolerancia de 20% del tiempo normal, ¿cuánto tiempo estima por cliente servido, según la muestra preliminar?

Elemento	Calificación de desempeño	Obs 1	Obs 2	Obs 3	Obs 4	Obs 5
Elemento 1	70	4	3	5	4	3
Elemento 2	110	8	10	9	11	10
Elemento 3	90	6	8	7	7	6

17. Se realizó un estudio de muestreo del trabajo para determinar la proporción de tiempo que un trabajador está ocioso. La siguiente información se recolectó de manera aleatoria.

Día	Número de veces del trabajador ocioso	Número total de observaciones
Lunes	17	44
Martes	18	56
Miércoles	14	48
Jueves	16	60

a) Con estos resultados preliminares, ¿qué porcentaje de tiempo trabaja el empleado?

b) Si el tiempo ocioso se juzga excesivo, ¿qué categorías adicionales agregaría para dar seguimiento al estudio de identificación de raíz de las causas?

18. Un contratista está preparando una licitación para instalar albercas en un nuevo conjunto de casas. El tiempo estimado de construcción de la primera alberca es de 35 horas. El contratista estima una tasa de aprendizaje de 85%. Sin usar la computadora:

a) ¿Cuánto tiempo estima que se requerirá para la instalación de la segunda alberca?

b) ¿Cuánto tiempo estima que se requerirá para la instalación de la cuarta alberca?

19. Regrese al problema 18. Utilice el *Solucionador Curvas de aprendizaje* de OM Explorer para estimar el tiempo requerido para instalar la quinta alberca. ¿Cuál es su estimación del tiempo total para las cinco albercas?

20. El administrador de Perrotti's Pizza recolecta datos respecto a las quejas de los clientes por la entrega de las pizzas. Ocurre que llegan tarde o se entrega la pizza equivocada.

Problema	Frecuencia
Ingredientes pegados a la tabla de la caja	17
La pizza llega tarde	35
Ingredientes o combinación equivocada	9
Estilo de corteza de pan equivocado	6
Tamaño equivocado	4
Faltan rebanadas en la pizza	3
La pizza nunca llegó	6

c) Utilice la gráfica de Pareto para identificar los "pocos vitales" entre los problemas de entrega. Comente las causas potenciales de estos problemas e identifique cualquier falla especialmente atroz.

d) El administrador de Perrotti's Pizza está intentando comprender las causas de la entrega tarde y ha pedido a cada conductor que mantenga una bitácora de las dificultades que crean estas entregas tarde. Después de una semana, las bitácoras incluyen los siguientes hechos: el vehículo de entregas se descompuso, no pudo cruzar la ciudad para entregar la segunda pizza a tiempo, no pudo entregar cuatro pizzas a cuatro clientes diferentes a tiempo, la cocina se tardó en producir la orden, se perdió, el talón de la orden se perdió en la producción, no pudo leer la dirección del talón y fue a la casa equivocada.

Organice estas causas en un diagrama de causa-efecto.

21. Smith, Schroeder y Torn (SST) es una compañía de mudanzas, a corta distancia, de muebles para el hogar. La fuerza de trabajo de SST seleccionada entre integrantes del equipo de futbol americano de la universidad comunitaria es temporal y de tiempo parcial. SST está preocupada por quejas recientes, según los datos de la siguiente hoja de recuento:

Queja	Recuento
Vidrio roto	𝍸 𝍸 |||
Entrega en dirección equivocada	𝍸 ||||
Muebles tallados mientras estaban en el camión	𝍸 𝍸 𝍸 𝍸
Entrega tarde	𝍸
Llegada tarde para recoger los muebles	𝍸 𝍸 𝍸 |||
Artículos faltantes	𝍸 𝍸 𝍸 𝍸 𝍸 |
Raspaduras y hendiduras por mal manejo	𝍸 𝍸
Tapicería manchada	𝍸 |||

a) Dibuje un diagrama de barras y una gráfica de Pareto usando OM Explorer para identificar los problemas más serios de la mudanza.

b) El administrador de SST intenta comprender las causas de las quejas. Ha compilado la siguiente lista de aspectos que ocurrieron durante las entregas con problemas: el camión se descompuso, se acabaron las cajas para empacar, varias entregas en un día ocasionaron la tardanza, no había almohadillas para los muebles, el empleado dejó caer varios artículos, el conductor se perdió en el camino hacia la dirección, la rampa del camión estaba doblada, no había cinta adherible para empaque, la carretilla tiene una llanta rota y el empleado llegó tarde a trabajar.

Organice estas causas en un diagrama de causa-efecto.

22. Rick DeNeefe, administrador del departamento de autorización de crédito del Golden Valley Bank, observó recientemente que un competidor importante anunciaba que las solicitudes de préstamos de equidad podían aprobarse en dos días hábiles. Debido a que la aprobación de créditos es una prioridad competitiva, DeNeefe quería ver qué tan bien funcionaba su departamento respecto al del competidor. Golden Valley sella cada solicitud con la fecha y la hora al recibirla y de nuevo cuando se toma una decisión. En marzo se recibieron 104 solicitudes. El tiempo requerido para cada decisión, redondeada a la hora más cercana, se muestra en la siguiente tabla. Los empleados de Golden Valley trabajan ocho horas al día.

Tiempo de proceso de decisión (horas)	Frecuencia
8	8
11	19
14	28
17	10
20	25
23	4
26	10
Total	104

a) Dibuje una gráfica de barras para estos datos.

b) Analice los datos. ¿Qué tan bien funciona Golden Valley respecto a su prioridad competitiva?

23. El año pasado, el administrador del departamento de servicio en East Woods Ford instituyó un programa de opinión de los clientes para encontrar cómo mejorar el servicio. Una semana después de que se daba servicio a un vehículo, un asistente llamaba al cliente para saber si el trabajo había sido satisfactorio y cómo se podía mejorar el servicio. Después de un año de reunir datos, el asistente descubrió que las quejas se podían agrupar en las siguientes cinco categorías:

Queja	Frecuencia
Atmósfera poco amistosa	5
Larga espera para el servicio	17
Precio demasiado alto	20
Facturación incorrecta	8
Necesidad de regresar a corregir el problema	50
Total	100

a) Utilice OM Explorer para dibujar una gráfica de barras y una gráfica de Pareto para identificar los problemas de servicio significativos.

b) Clasifique las siguientes causas de las quejas en un diagrama causa-efecto: herramientas, programación, partes defectuosas, capacitación, sistema de facturación, medidas de desempeño, equipo de diagnóstico y comunicaciones.

24. Oregon Fiber Board fabrica forros de techos para la industria automotriz. La gerente de producción está preocupada por la calidad del producto. Ella sospecha que una falla en particular, las rasgaduras en la tela, se relaciona con el tamaño de la corrida de producción. Un asistente reúne los siguientes datos de los registros de producción:

Corrida	Tamaño	Fallas (%)	Corrida	Tamaño	Fallas (%)
1	1,000	3.5	11	6,500	1.5
2	4,100	3.8	12	1,000	5.5
3	2,000	5.5	13	7,000	1.0
4	6,000	1.9	14	3,000	4.5
5	6,800	2.0	15	2,200	4.2
6	3,000	3.2	16	1,800	6.0
7	2,000	3.8	17	5,400	2.0
8	1,200	4.2	18	5,800	2.0
9	5,000	3.8	19	1,000	6.2
10	3,800	3.0	20	1,500	7.0

a) Dibuje un diagrama de dispersión para estos datos.

b) ¿Parece haber una relación entre el tamaño de la corrida y el porcentaje de fallas? ¿Qué implicaciones tienen estos datos para el negocio de Oregon Fiber Board?

25. Grindwell, Inc., un fabricante de herramientas para molienda, está preocupado por la durabilidad de sus productos, que depende de la permeabilidad de las mezclas sintetizadas que se usan en la producción. Sospecha que el contenido de carbón puede ser la fuente del problema, el administrador de la planta recolecta los siguientes datos:

Contenido de carbón (%)	Índice de permeabilidad
5.5	16
3.0	31
4.5	21
4.8	19
4.2	16
4.7	23
5.1	20
4.4	11
3.6	20

a) Dibuje un diagrama de dispersión para estos datos.

b) ¿Existe una relación entre la permeabilidad y el contenido de carbón?

c) Si una baja permeabilidad es deseable, ¿qué sugiere el diagrama de dispersión respecto al contenido de carbón?

26. El gerente de operaciones de Superfast Airlines en el aeropuerto O'Hare de Chicago observa un aumento en el número de salidas retrasadas de los vuelos. Realiza con su personal una lluvia de ideas de las posibles causas:

- El avión llega tarde a la salida.
- Se aceptan pasajeros que llegan tarde.
- Los pasajeros llegan tarde a la sala.
- Retrasos por procesado de pasajeros en la sala.
- El equipaje llega tarde al avión.
- Otro personal llega tarde o faltan artículos.
- Fallas mecánicas.

Dibuje un diagrama de causa-efecto para organizar las causas posibles de retraso en la salida de los vuelos en las siguientes categorías principales: equipo, personal, material, procedimientos y "otros factores" más allá del control del gerente. Proporcione un conjunto detallado de factores para cada causa importante identificada por el gerente de operaciones e incorpórelos a su diagrama causa-efecto.

27. Plastomer, Inc. se especializa en la fabricación de película plástica de alto grado usada para envolver productos alimenticios. La película se rechaza y se tira por varias razones (como opacidad, alto contenido de carbón grueso o calibre incorrecto, raspaduras, etc.). Durante el mes pasado, la administración recolectó datos del tipo de rechazos y la cantidad de desperdicio generada por cada tipo. La siguiente tabla presenta los resultados:

Tipo de falla	Cantidad de desperdicio (lb)
Burbujas de aire	500
Burbuja que se rompe	19,650
Contenido de carbón	150
Disparejo	3,810
Carbón grueso o calibre incorrecto	27,600

(Continúa)

(Continuación)

Tipo de falla	Cantidad de desperdicio (lb)
Opacidad	450
Raspaduras	3,840
Recortes	500
Arrugas	10,650

Dibuje una gráfica de Pareto para identificar qué tipo de falla debe la administración tratar de eliminar primero.

28. La administración de una compañía que envasa shampoo introdujo un nuevo envase de 13.5 onzas y utiliza una máquina existente, con algunas modificaciones, para el llenado. Para medir la uniformidad en el llenado de la máquina modificada (establecida para llenar 13.85 onzas), un analista reúne los siguientes datos (volumen en onzas) para una muestra aleatoria de 100 botellas.

a) Dibuje un histograma de estos datos.

b) Las botellas con menos de 12.85 onzas o más de 14.85 onzas se consideran fuera de especificación. Con base en los datos de la muestra, ¿qué porcentaje de botellas llenadas por la máquina estará fuera de especificación?

Volumen en las botellas (onzas)									
13.0	13.3	13.6	13.2	14.0	12.9	14.2	12.9	14.5	13.5
14.1	14.0	13.7	13.4	14.4	14.3	14.8	13.9	13.5	14.3
14.2	14.1	14.0	13.9	13.9	14.0	14.5	13.6	13.3	12.9
12.8	13.1	13.6	14.5	14.6	12.9	13.1	14.4	14.0	14.4
13.1	14.1	14.2	12.9	13.3	14.0	14.1	13.1	13.6	13.7
14.0	13.6	13.2	13.4	13.9	14.5	14.0	14.4	13.9	14.6
12.9	14.3	14.0	12.9	14.2	14.8	14.5	13.1	12.7	13.9
13.6	14.4	13.1	14.5	13.5	13.3	14.0	13.6	13.5	14.3
13.2	13.8	13.7	12.8	13.4	13.8	13.3	13.7	14.1	13.7
13.7	13.8	13.4	13.7	14.1	12.8	13.7	13.8	14.1	14.3

Problemas avanzados

29. Este problema debe resolverse como un ejercicio de equipo.

Rasurarse es un proceso que la mayoría de los hombres realizan cada mañana. Suponga que el proceso comienza en el lavabo del baño con la persona caminando (digamos 5 pies) al gabinete (donde están sus implementos) para recoger una palangana, jabón, brocha y la rasuradora. Camina de regreso al lavabo, deja correr el agua hasta que está tibia, enjabona su cara, se rasura e inspecciona el resultado. Luego enjuaga la rasuradora, seca su cara, camina al gabinete para guardar la palangana, jabón, brocha y rasuradora; regresa al lavabo para limpiarlo y completa el proceso.

a) Desarrolle un diagrama de proceso para rasurase (suponga valores adecuados para el tiempo requerido para cada actividad del proceso.)

b) Realice una lluvia de ideas para mejorar el proceso de rasurarse. Tener menos de 20 ideas es inaceptable. (No intente evaluar las ideas hasta que el grupo compile una lista tan completa como sea posible. De otra manera, el juicio bloquea la creatividad).

30. En Conner Company, un fabricante sobre pedido de tarjetas de circuitos impresos, las tarjetas terminadas pasan una inspección final antes de enviarlas al cliente. Como gerente de aseguramiento de calidad en Conner, usted es responsable de armar una presentación para la administración sobre los problemas de calidad al principio de cada mes. Su asistente analiza los memorandos de rechazo para todas las tarjetas rechazadas el mes anterior. Le proporciona un resumen en una lista con el número de referencia de la tarjeta y la razón del rechazo entre una de las siguientes categorías.

A = recubrimiento electrolítico malo

B = laminación inapropiada

C = chapa de cobre delgada

D = separación de la chapa

E = grabado inapropiado

Para 50 circuitos rechazados el mes pasado, el resumen muestra lo siguiente:

C B C C D E C C B A D A C C C B C A C D C A C C B

A C A C B C C A C A A C C D A C C C E C C A B A C

a) Prepare una hoja de recuento (o lista de verificación) de las diferentes razones de rechazo.

b) Desarrolle un diagrama de Pareto para identificar los tipos de rechazo más significativos.

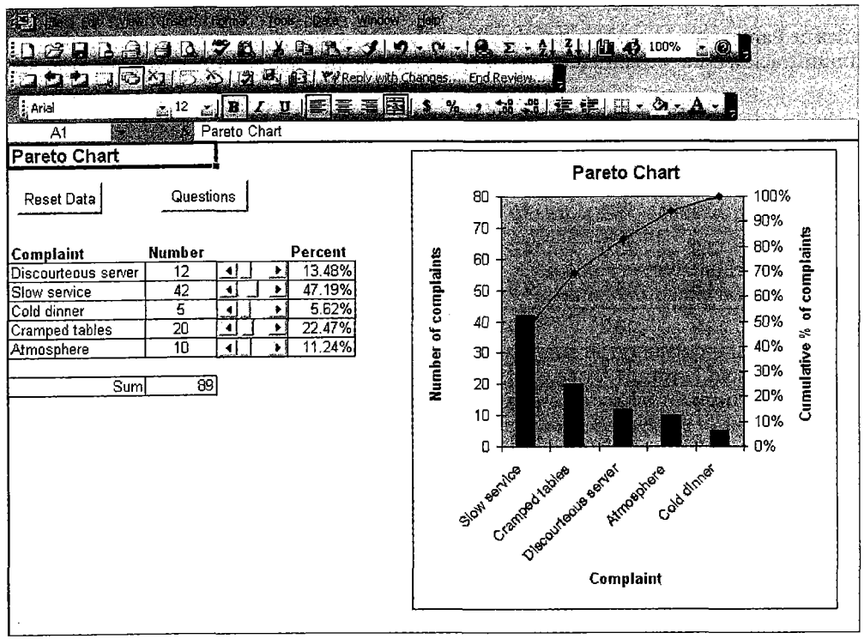
c) Examine las causas de los tipos de defectos más significativos, usando un diagrama de causa-efecto.

Ejercicio de modelo activo

Este modelo activo aparece en MyOMLab. Continuando con el ejemplo 4.2, le permite evaluar la estructura de una gráfica de Pareto.

PREGUNTAS

1. ¿De qué porcentaje de todas las quejas es responsable la descortesía?
2. ¿De qué porcentaje de las quejas son responsables las tres quejas más comunes?
3. ¿Cómo afecta a la gráfica si elimina el servicio descortés?



CASO EN VIDEO Análisis del proceso en Starwood

La siguiente figura muestra las características y distribución del hotel Phoenician, propiedad de Starwood Hotels and Resorts en Scottsdale, Arizona. Starwood Hotels and Resorts no es ajeno al mejoramiento de procesos. De hecho, la carta del presidente en un informe anual reciente establece que mediante "punto de comparación (*benchmarking*), Six Sigma y reconocimiento de excelencia [Starwood] está impulsando los resultados en un ciclo virtual de automejora en todos los niveles de la compañía". Reconociendo que un proceso mejorado en un departamento de un solo hotel, si se extiende a través de toda la organización llevaría a mejoras significativas, la compañía recientemente creó un programa llamado "Poder de la innovación" (POI, *Power of Innovation*).

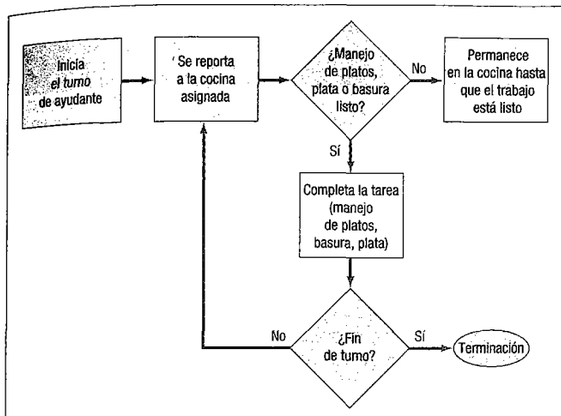
El programa el Poder de la innovación en Starwood busca captar las mejores prácticas que hay en hoteles de todas las marcas en Norteamérica. Un equipo interno con experiencia en preparación y producción en cocina, lavandería, asistencia, recepción y limpieza trabaja con las propiedades individuales para incrementar y maximizar el conocimiento local de los equipos de administración de la propiedad. El equipo suele pasar alrededor de una semana en una propiedad absorto en las operaciones para ver realmente la actividad diaria durante un periodo. De interés particular es la programación de la fuerza de trabajo para cumplir la demanda de cada hotel al tiempo que simplifica los procesos de operación.

En el Westin Galleria-Oaks en Houston, Texas, por ejemplo, el equipo del POI ayudó a la administración a lograr una mejora de 6% en la productividad en el trabajo de preparación y producción en la cocina, con una reducción de 2,404 horas y $23,320 de ahorro tan solo en la nómina anual. Al mismo tiempo, otros proyectos del POI en el hotel generaron ahorros adicionales de $14,400 en la nómina anual.

El Phoenician en Scottsdale también tuvo una visita del equipo POI. Un área en la que se enfocó el equipo fue en el servicio de apoyo. El proceso típico incluye las siguientes obligaciones: lavado de platos, eliminar la basura de la cocina, pulir la plata y ayudar en las líneas de preparación de banquetes. Los ayudantes apoyan a ocho cocinas y dos pastelerías y trabajan con el servicio de limpieza en el mantenimiento de áreas públicas, como baños y cabañas de la alberca.

Un diagrama de flujo con el proceso de apoyo que el equipo documentó se muestra en la figura. En un día determinado, un asistente en particular puede apoyar a más de una cocina y tal vez lo llamen para hacer varias tareas.

Antes de que llegara el equipo del POI, los ayudantes se dedicaban a una cocina o área específica durante su turno. Cada cocina requería apoyo como lo describe el chef ejecutivo, por lo que más de un ayudante podía estar asignado a un área. Cierta cantidad de trabajo de ayudantes podía pronosticarlo el gerente de alimentos y bebidas, con base en los banquetes programados, té por la tarde, bufete de conferencias y reservaciones en restaurantes. También surgía una incertidumbre considerable del tráfico generado por los viajeros de placer y la clientela local, que significa que los ayudantes asignados a áreas específicas periódicamente no tenían un flujo de trabajo estable.



Cada semana se determinaban los niveles de actividad para el personal de ayuda dedicado, con base en la información de chef ejecutivo. Otros factores considerados en la planeación de la semana, incluían la actividad del año anterior, eventos especiales y días festivos, y el número de niños. Con esta información, el ejecutivo de apoyo hacía un resumen de todas las comidas, llamadas cubiertos, por lugar, fecha y hora del día. Luego usaba una plantilla de Excel para elaborar la programación para desplegar el personal de apoyo en las cocinas y restaurantes del complejo.

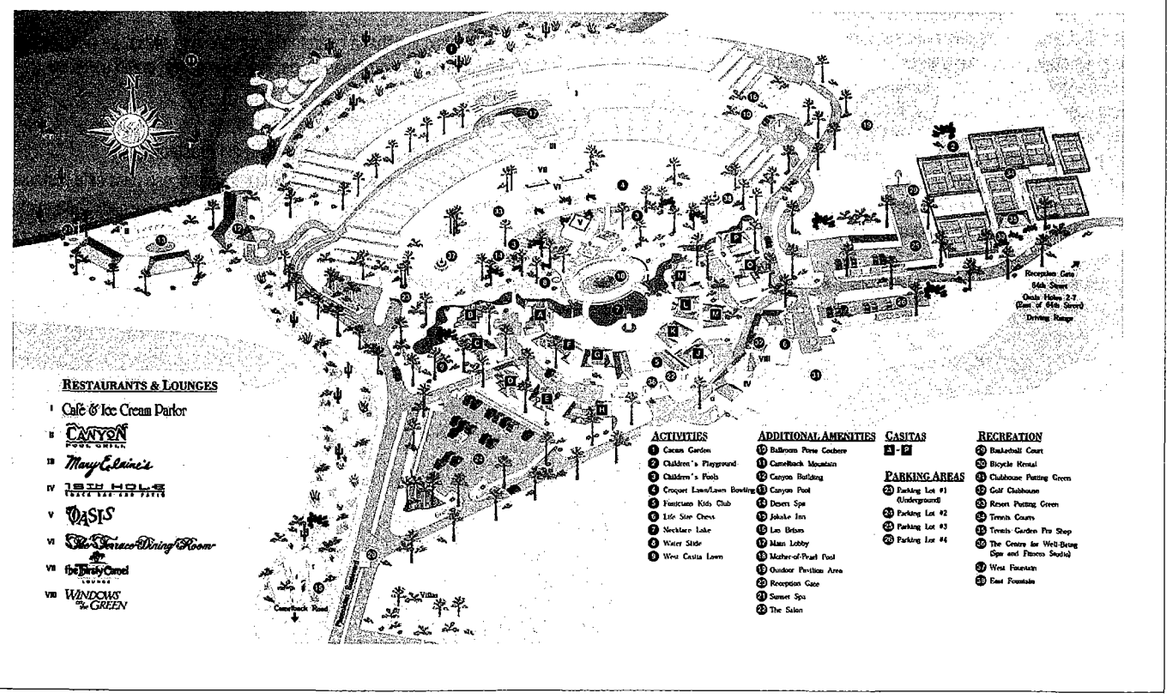
Al hacer su análisis, el equipo del POI examinó la disponibilidad del personal, los eventos de banquetes, restaurantes, la cuenta de habitaciones ocupadas y otros impulsores de negocios en áreas apoyadas por los ayudantes. Los estudios de tiempos se hicieron para determinar los recorridos de los ayudantes por la propiedad y cuánto tiempo tomaba cada tarea de los ayudantes. Algunos restaurantes y cocinas no requieren apoyo de tiempo completo, de modo que el ayudante se asignaba a varias cocinas para llenar su turno. En el caso del apoyo entre el restaurante Hoyo 19, en un lado del complejo, y el Canyon Building, en el otro lado, ese ayudante caminaba una milla y media de ida para hacerse cargo de sus responsabilidades en ambos lugares porque no tenían suficiente trabajo para un ayudante dedicado en cada lugar.

Con frecuencia, los ayudantes tenían tiempo sin actividad mientras esperaban a que llegaran los platos de un banquete o las ollas y utensilios de la cocina. Algunos restaurantes tenían vajillas con requerimientos especiales de limpieza, lo que implicaba que se tenían que lavar a mano en lugar de colocarse en un lavaplatos automático. Esta situación requiere un ayudante dedicado para realizar esa tarea.

Los estudios de tiempo revelaron cuánto tiempo tomaba a los ayudantes moverse de una cocina a otra. Los estudios también ayudaron al equipo del POI a entender el tiempo que toma lavar platos en los restaurantes de cinco estrellas comparado con las áreas casuales de las albercas. Además, los estudios descubrieron las limitaciones de los edificios y las áreas de jardines que no permitían al personal moverse entre las cocinas con rapidez. En algunos casos, un laberinto de corredores agregaba millas a los recorridos diarios, y las gruesas cercas de arbustos de privacidad evitaban la entrada a las vías cortas de banqueta.

PREGUNTAS

1. *¿Cómo puede la administración mejorar específicamente el proceso de* los ayudantes en el Phoenician? Utilice la información proporcionada para crear un diagrama de flujo que ilustre el nuevo proceso.
2. ¿Cuáles son los beneficios que el programa POI puede traer a Starwood? ¿Estos beneficios se extienden a otros procesos y propiedades del sistema Starwood?
3. De los siete errores que cometen las organizaciones al administrar sus procesos (véase la última sección de este capítulo), ¿cuáles tiene más riesgo de cometer Starwood? ¿Por qué?



CASO José's Authentic Mexican Restaurant

"Dos tacos de frijol, un burrito de pollo grande y una orden de arroz español, por favor." Ivan Karetski pidió la orden de su mesa en la cocina mientras preparaba las bebidas ordenadas. El negocio era enérgico. Karetski estaba contento. Muchos clientes significan muchas propinas y, como estudiante de posgrado sin mucho dinero, el ingreso adicional era muy apreciado. Sin embargo, últimamente sus propinas habían declinado.

José's es un pequeño restaurante de 58 lugares que ofrece una variedad razonable de comida mexicana preparada y presentada con el tradicional estilo mexicano. Se localiza en Nueva Inglaterra en un distrito de negocios maduro a la orilla del área metropolitana. El sitio está al lado de un centro de arte y ofrece espacios limitados de estacionamiento. La decoración interior del restaurante promueve el tema mexicano: las paredes parecen de adobe y hay zarapes colgados, los muebles tienen estilo español-mexicano y una guitarra flamenca y un mariachi alternan como música de fondo.

Los clientes entran al restaurante por un vestíbulo pequeño que lleva directamente al área del comedor; no hay un área de espera separada. Al llegar, una recepcionista les da la bienvenida y los lleva a una mesa o les informa sobre la posible espera. Lo usual es que al llegar el cliente pueda sentarse, excepto los viernes y sábados en la noche cuando la espera puede ser hasta de 45 minutos. Debido a que el espacio para esperar es limitado, los clientes deben permanecer afuera hasta que les llamen. José's no hace reservaciones.

Una vez que los clientes están sentados, la recepcionista distribuye los menús y llena los vasos de agua. Si se cumplen los estándares, el mesero asignado a la mesa saluda a los clientes, aproximadamente, en un minuto. (Al ser un restaurante tradicional mexicano, los meseros son todos hombres). El mesero se presenta, anuncia los especiales del día y toma la orden de bebidas. Después de llevar las bebidas, toma la orden de comidas.

El menú consiste en 23 entradas elaboradas con ocho alimentos básicos (pollo, res, frijol, arroz, tortillas de maíz, tortillas de harina, tomates y lechuga) y otros ingredientes (frutas, vegetales, salsas, hierbas y especies). Antes de que comience la hora de la cena, el cocinero prepara los alimentos básicos para poder combinarlos con rapidez para completar los platos ordenados. El tiempo que suele requerir para completar un plato una vez que se ordena es de 12 minutos. Una buena parte de este tiempo es para terminar de cocer, por lo que varios platillos pueden estar en preparación al mismo tiempo. Como es de imaginar, una de las habilidades de un buen cocinero es poder programar la producción de los diferentes platillos ordenados en una mesa para que estén listos, aproximadamente, al mismo tiempo. Una vez que todos los platillos y las órdenes adicionales están listos, el mesero verifica que todos estén correctos y se vean bien, corrige errores y agrega los toques finales. Cuando todo está en orden, los pone en una charola y los entrega en la mesa. Desde este punto en adelante, el mesero mantiene un ojo en la mesa para detectar cualquier servicio adicional o ayuda que se necesite.

Cuando los comensales parecen haber terminado con su platillo, el mesero se acerca, pregunta si quieren que les retire los platos y toma el pedido de los postres o café. Cuando la cena termina por completo, el mesero presenta la cuenta y poco después recoge el pago. José's acepta efectivo o las principales tarjetas de crédito, pero no cheques.

Karetski siente que su relación con el cocinero es importante. Como controla la calidad de la comida, Karetski quiere estar en buenos términos con él. Trata al cocinero con respeto, intenta poner los platillos en el papel del pedido en secuencia según el tiempo de preparación más largo y se asegura de escribir claro para que sea fácil leerlo. Aunque no es su trabajo, ayuda a reunir los alimentos del refrigerador o de la despensa cuando el cocinero está ocupado y contribuye con una parte de la preparación él mismo. El cocinero ha estado irritable últimamente, se queja de la baja calidad de algunos ingredientes que le entregaron. La semana pasada, por ejemplo, recibió lechugas que parecían marchitas y pollo duro con más hueso que carne. Durante las horas pico, puede tomar más de 20 minutos preparar buenos platillos para las mesas.

Karetski vio los resultados de una encuesta a los clientes que realizó la administración el viernes y sábado anterior durante la cena. La siguiente tabla muestra el resumen de respuestas.

Resultados de la encuesta de clientes

¿Le asignaron mesa pronto?	Sí: 70	No: 13
¿Fue satisfactorio el servicio de su mesero?	Sí: 73	No: 10
¿Le sirvieron en un tiempo razonable?	Sí: 58	No: 25
¿Disfrutó su comida?	Sí: 72	No: 11
¿Su experiencia en la cena tuvo el valor del costo?	Sí: 67	No: 16

Cuando Karetski llevaba la charola de bebidas a la mesa, se preguntaba si la reciente caída en las propinas se debía a algo que él podía controlar.

PREGUNTAS

1. ¿Cómo debe definirse la calidad en este restaurante?
2. ¿Cuáles son los costos de las fallas en el proceso para este restaurante?
3. Utilice alguna herramienta para el análisis de procesos para evaluar la situación en José's.

Fuente: Este caso fue preparado por Larry Meile, Boston College, como base para discusión en clase. Con permiso de Larry Meile.

Referencias seleccionadas

Andersen, Bjørn. *Business Process Improvement Toolbox*. 2a ed. Milwaukee, Wiscconsin: American Society for Quality, 2007.

Ahire, Sanjay L. y Manoj. K. Malhotra. "Scripting a Holistic Rx for Process Improvement at Palmetto Health Imaging Centers". *Journal of Global Business and Organizational Excellence*, vol. 30, núm. 2 (enero/febrero, 2011), pp. 23-35.

Bhuiyan, Nadjia, Amit Baghel, Jim Wilson. "A Sustainable Continuous Improvement Methodology at an Aerospace Company", *International Journal of Productivity and Performance Management*, vol. 55, núm. 8 (2006), pp. 671-687.

Carey, Susan. "Case ofthe Vanishing Airport Lines" *Wall Street Journal* (9 de agosto, 2007).

Davenport, Thomas H. "The Coming Commoditization of Processes". *Harvard Business Review* (junio, 2005), pp. 101-108.

Edmondson, Amy C. "The Competitive Imperative of Learning". *Harvard Business Review*, vol. 86 (julio-agosto, 2008), pp. 1-13.

Fisher, Anne. "Get Employees to Brainstorm Online". *Fortune*, vol. 150, núm. 11 (noviembre, 2004), p. 72.

Fleming, John H., Curt Coffman y James K. Harter. "Manage Your Human Sigma". *Harvard Business Review*, (julio-agosto, 2005), pp. 101-108.

Greasley, A. "Using Process Mapping and Business Process Simulation to Support a Process-Based Approach to Change in a Public Sector Organization". *Technovation*, 26 (2006), pp. 95-103.

Grosskopf, Alexander, Gero Decker y Mathias Weske. *The Process: Business Process Modelling Using BPMN*. Tampa, Florida: Meghan-Kiffer Press, 2009.

Hammer, Michael. "The Process Audit". *Harvard Business Review*, vol. 82, núm. 4 (abril, 2007), pp. 111-123.

Hammer, Michael. "What is Business Process Management?" *Handbook on Business Process Management* 1, 2010, pp. 3-16.

Hartvigsen, David. *SimQuick: Process Simulation with Excel*, 2a ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2004.

Jain, Rashmi, Angappa Gunasekaran y Anithashree Chandrasekaran. "Evolving Role of Process Reengineering: A Perspective of Employers". *Industrial and Commercial Training*, vol. 41, núm. 7 (2009), pp. 382-390.

Jeston, John y Johan Nelis. *Management by Process: A Roadmap to Sustainable Business Process Management*, Oxford, UK: Elsevier, 2008.

Karmarkar, Uday. "Will You Survive the Services Revolution?" *Harvard Business Review*, vol. 82, núm. 6 (junio, 2004), pp. 100-107.

Kulpa, Margaret, K. y Kent A. Johnson. *Interpeting the CMMI:A Process Improvement Approach*, 2a ed. Boca Raton, FL: Auerbach Publications, 2008.

La Ferla, Beverly. "Mapping the Way to Process Improvement". *IEE Engineering Management* (diciembre 2004-enero, 2005), pp. 16-17.

Lee, Hau L. "The Triple-A Supply Chain." *Harvard Business Review* (octubre, 2004), pp. 102-112.

Rummler, Geary A. y Alan P. Brache. *Improving Performance*, 2a. ed., San Francisco: Jossey-Bass Inc., 1995.

Scott, Bradley, S., Anne E. Wilcock y Vinay Kanetkar. "A Survey of Structured Continuous Improvement Programs in the Canadian Food Sector". *Food Control*, vol. 20 (2009), pp. 209-217.

5

CALIDAD Y DESEMPEÑO

Un ingeniero de la línea base en Verizon alista su computadora, la cual controla un banco de teléfonos celulares que hacen y reciben llamadas en distintas redes. Viaja por el norte de Virginia, Washington, D.C., y Maryland con un camión arreglado para probar los servicios de Verizon y sus competidores, con la finalidad de saber en dónde hay fallas del sistema de Verizon.

Verizon Wireless

Cualquiera que posea un teléfono celular conoce la agonía de una llamada que se corta. ¿Sabía que la razón puede ser el teléfono mismo y no la fuerza de la señal? Verizon Wireless da servicio a más de 62 millones de clientes en Estados Unidos y, junto con otros proveedores importantes, sabe que si el teléfono no funciona, será a la compañía, no al fabricante, a la que culpe el cliente. Verizon pregona la confiabilidad de sus servicios y no puede hacer nada por la falla de los celulares debido a la calidad de la manufactura. Verizon espera que fabricantes como Motorola, Samsung y LG Electronics proporcionen teléfonos sin defectos; sin embargo, la experiencia ha indicado que también se necesitan las extensas pruebas de Verizon.

Además del amplio análisis que busca debilidades en el hardware de un teléfono y sus componentes, se prueba la habilidad del aparato para soportar temperaturas extremas, vibración y tensión. Más allá de estas pruebas físicas, Verizon utiliza dos enfoques para evaluar la habilidad del teléfono para recibir señales de celular y comunicarse de manera clara con quien llama. Primero, Verizon contrata a 98 personas para pruebas que manejan camionetas de $300,000 con equipo especial y recorren más de 1 millón de millas al año para medir el desempeño de la red usando nuevos prospectos de teléfonos celulares. Hacen más de 3 millones de intentos de llamadas y 16 millones de pruebas de datos cada año. Las pruebas verifican la cobertura de la red, así como la competencia de los celulares para recoger las señales y comunicarse claramente con quien llama. Segundo, Verizon utiliza Mr. Head, un maniquí robot que tiene una voz grabada y está equipado con un oído de goma electrónico que evalúa qué tan bien transmite el micrófono del teléfono ciertos sonidos fonéticos. Mr. Head emite algo que parece jerigonza; sin embargo, en realidad cubre un rango

de sonidos de los patrones del habla normal. Otros sistemas monitorean las pruebas y resumen los resultados.

Algunos teléfonos están tanto tiempo en la etapa de pruebas que al final nunca llegan al mercado. En esos casos, es evidente que el costo de la mala calidad es muy alto para el fabricante.

Fuente: Amol Sharma, "Testing, Testing", *Wall Street Journal* (23 de octubre, 2007); Janet Hefler, "Verizon Tester Checks Vineyard Networks", *The Martha's Vineyard Times* (30 de agosto, 2007); Jon Gales, "Ride Along With a Verizon Wireless Test Man", *Mobile Tracker* (4 de abril, 2005) **http://investor.verizon.com** (2007).

METAS DE APRENDIZAJE *Después de estudiar este capítulo usted será capaz de:*

1. Definir los cuatro costos principales de la calidad.
2. Describir el papel de la ética en la calidad de servicios y productos.
3. Explicar los principios básicos de los programas TQM.
4. Explicar los principios básicos de los programas Six Sigma.
5. Describir cómo construir gráficas de control y utilizarlas para determinar si un proceso está fuera de control estadístico.
6. Describir cómo determinar si un proceso es capaz de producir un servicio o producto según especificaciones.

Creación de valor mediante la administración de operaciones

Utilización de las operaciones para competir
Administración de proyectos
Administración de procesos
Estrategia de procesos
Análisis de procesos
Calidad y desempeño
Planeación de la capacidad
Administración de restricciones
Sistemas esbeltos
Administración de la cadena de suministro
Administración del inventario de la cadena de suministro
Diseño de la cadena de suministro
Decisiones de localización de la cadena de suministro
Integración de la cadena de suministro
Sustentabilidad de la cadena de suministro y logística humanitaria
Pronósticos
Planeación y programación de las operaciones
Planeación de recursos

El reto para los negocios de hoy es satisfacer a sus clientes mediante un desempeño excepcional de sus procesos. Verizon Wireless es un ejemplo de una compañía que supera el reto con el diseño y administración de sus procesos, con lo cual proporciona a sus clientes una satisfacción total. Evaluar el desempeño de los procesos es importante si se desea que esto pase.

Evaluar el desempeño del proceso también es necesario para administrar las cadenas de suministro. Por ejemplo, en Verizon Wireless, el proceso de entregar comunicaciones con teléfono celular al cliente puede medirse por la uniformidad del servicio y la calidad del sonido en la transmisión de la voz. La realización del proceso, que incluye seleccionar proveedores de teléfonos celulares y evaluar cómo entregan sus productos, puede medirse en términos de la calidad del teléfono celular entregado a Verizon, el desempeño de los proveedores en cuanto a la entrega a tiempo y el costo de los teléfonos celulares. Al final, la evaluación de la cadena de suministro que consiste en estos dos procesos y muchos otros dependerá de lo satisfechos que estén los clientes de Verizon, que consideran que el valor del servicio radica en qué tan bien cumple o incluso excede las expectativas. El desempeño de estos procesos individuales debe ser congruente con las medidas para la cadena de suministro.

Calidad y desempeño en toda la organización

La calidad y el desempeño deben ser la preocupación de todos. Veamos por ejemplo a QVC, un servicio de compras por televisión de $7,400 millones. QVC está al aire 24 horas al día, todos los días del año; vende cerca de 60,000 artículos que abarcan desde joyería, herramientas, utensilios de cocina, ropa y alimentos gourmet hasta computadoras, y anualmente envía más de 166 millones de paquetes a todo el mundo.

Los procesos de QVC, que abarcan todas las áreas funcionales, se activan con la orden de un cliente: tomar la orden y comprometer una fecha de entrega, facturar y ordenar la entrega, todo se deriva de una orden colocada. QVC opera cuatro centros de llamadas que cada año manejan 179 millones de llamadas de clientes que quieren ordenar algo, quejarse por un problema o simplemente obtener información de un producto. La actitud y las habilidades del representante en el centro de llamadas son cruciales para lograr un encuentro exitoso con el cliente. La administración de QVC monitorea las medidas de productividad, calidad y satisfacción del cliente para todos los procesos. Cuando las medidas fluyen, los problemas se abordan de manera agresiva. Saber cómo evaluar si el proceso tiene un buen desempeño y cuándo tomar acción son las habilidades clave que deben tener los administradores de QVC. En este capítulo, primero vemos los costos de la calidad y luego nos enfocamos en la Administración de la Calidad Total (TQM) y Six Sigma, dos filosofías y herramientas de apoyo que muchas compañías adoptaron para evaluar y mejorar la calidad y el desempeño.

Costos de la calidad

Cuando un proceso no satisface a un cliente, la falla se considera un **defecto.** Por ejemplo, de acuerdo con California Academy of Family Physicians, los defectos de los procesos en la práctica de un médico se definen como "cualquier cosa que haya ocurrido en mi consultorio, que no debería haber sucedido y que yo definitivamente no quiero que acontezca de nuevo". Es obvio que esta definición cubre las fallas del proceso que el paciente puede percibir, como mala comunicación y errores en las dosis de la receta. También incluye fallas que el paciente no ve, como expedientes incorrectos.

defecto
Cualquier instancia en la que un proceso no satisface a sus clientes.

Muchas compañías invierten una cantidad significativa de tiempo, esfuerzo y dinero en sistemas, capacitación y cambios organizacionales para mejorar la calidad y desempeño de sus procesos. Piensan que es importante la posibilidad de medir los niveles de desempeño actuales para que sea factible determinar cualquier diferencia. Las diferencias reflejan clientes potencialmente insatisfechos y costos adicionales para la empresa. La mayoría de los expertos estiman que los costos de la calidad van de 20 a 30% de las ventas brutas. Estos costos se desglosan en cuatro categorías: **1.** prevención, **2.** evaluación, **3.** falla interna y **4.** falla externa.

Costos de prevención

Los **costos de prevención** se asocian con prevenir defectos antes de que ocurran. Incluyen los costos de rediseñar un proceso para eliminar las causas de un desempeño bajo, rediseñar el servicio o producto para que sea más sencillo producirlo, capacitar empleados en los métodos de mejora continua y trabajar con los proveedores para aumentar la calidad de los artículos comprados o de los servicios contratados. Con el fin de prevenir problemas, las empresas deben invertir tiempo, esfuerzo y dinero.

costos de prevención
Costos asociados con prevenir los defectos antes de que ocurran.

Costos de evaluación

Se incurre en **costos de evaluación** cuando la empresa evalúa el nivel de desempeño de sus procesos. Cuando los costos de prevención aumentan y el desempeño mejora, los costos de evaluación disminuyen porque se necesitan menos recursos para inspeccionar la calidad y las búsquedas subsecuentes de las causas de cualquier problema que se detecte.

costos de evaluación
Costos en que se incurren cuando la empresa evalúa el nivel de desempeño de sus procesos.

Costos de fallas internas

Los **costos de fallas internas** son el resultado de defectos que se descubren durante la producción de un servicio o producto. Los defectos pertenecen a dos categorías principales: **1.** *retrabajo,* que ocurre si algún aspecto de un servicio debe realizarse de nuevo o si un artículo defectuoso debe redirigirse a alguna operación previa para corregir el defecto y **2.** *desperdicio,* que ocurre si un artículo defectuoso no se puede seguir procesando. Por ejemplo, un análisis de la viabilidad de adquirir una compañía puede devolverse a los departamentos de fusión y adquisiciones si falta una evaluación de la historia del cumplimiento ambiental de la compañía. La propuesta de compra de una compañía puede retrasarse, y tal vez se pierda la oportunidad de la compra.

costos de fallas internas
Costos que resultan de los defectos que se descubren durante la producción de un servicio o producto.

Costos de fallas externas

Los **costos de fallas externas** surgen cuando se descubre un defecto después de que el cliente recibe el servicio o producto. Los clientes insatisfechos hablan de un mal servicio o producto con sus amigos, que a su vez les dicen a otros. Si el problema es suficientemente grave, los grupos de protección al consumidor pueden, incluso, alertar a los medios. Es difícil estimar el impacto potencial sobre las ganancias futuras, pero sin duda los costos de la falla externa erosionan los porcentajes de mercado y las ganancias. Encontrar defectos y corregirlos después de que el producto ha llegado a manos del cliente es costoso.

costos de fallas externas
Costos que surgen cuando se descubre un defecto después de que el cliente recibe el servicio o producto.

Los costos de fallas externas también incluyen la garantía de servicio y los costos de litigios. Una **garantía** es un escrito de valor oficial donde el fabricante se compromete a reemplazar el producto o a reparar partes defectuosas del mismo, o bien, a realizar el servicio hasta alcanzar la satisfacción del cliente. Por lo general, una garantía se da por un periodo específico. Por ejemplo, la reparación de televisores suele garantizarse por 90 días y los automóviles nuevos por cinco años o 50,000 millas, lo que ocurra primero. Los costos de garantía deben considerarse en el diseño de nuevos servicios o productos.

garantía
Una garantía escrita de que el producto se reemplazará o se repararán las partes defectuosas, o bien, realizará el servicio para satisfacer al cliente.

Ética y calidad

Los costos de la calidad van más allá de los costos de dinero en el bolsillo asociados con capacitación, evaluación, desperdicio, retrabajo, garantías, litigios o ventas perdidas por clientes insatisfe-

chos. Existe un efecto social mucho mayor que debe prorratearse en la toma de decisiones respecto a la producción de servicios o productos que, con frecuencia, requiere equilibrar las medidas tradicionales de desempeño de la calidad y los beneficios globales para la sociedad. Por ejemplo, en la industria del cuidado de la salud, puede oírse bien una meta de cero complicaciones en cirugía cardiaca; sin embargo, si se trata del costo de no recibir a pacientes de alto riesgo, ¿se está sirviendo a la sociedad de la mejor manera? Estas son preguntas que muchas veces no tienen respuestas claras.

Las prácticas de negocios fraudulentos son otra fuente de preocupación por la calidad del servicio o producto. Los negocios fraudulentos implican tres elementos: **1.** la conducta del proveedor es intencional y está motivada por el deseo de explotar al cliente, **2.** el proveedor oculta la verdad con base en lo que por ahora se conoce de él y **3.** la intención de la transacción es generar un beneficio económico desproporcionado para el proveedor a expensas del cliente. Este comportamiento es falto de ética, minimiza la calidad de la experiencia del cliente y puede imponer un costo sustancial sobre la sociedad. La calidad trata de incrementar la satisfacción de los clientes. Cuando una empresa accede a un comportamiento no ético y el cliente se da cuenta, es poco probable que su opinión favorezca a esa compañía o que regrese como cliente.

Las empresas que producen mejor calidad de servicio y productos esperan obtener algo a cambio de esa calidad alta. También pueden esperar crecer y prosperar con el tiempo por su habilidad para crear un valor verdadero para los clientes. Por el contrario, las empresas que trabajan con engaños minan la habilidad y competencia de sus empleados y degradan su relación con los clientes externos. El desafortunado mensaje que estas empresas envían a sus empleados, que también son sus clientes internos, es que la administración piensa que son menos capaces de producir servicios y productos de calidad que sus contrapartes de las empresas éticas. En estas condiciones también es menos probable que los empleados tengan una motivación para hacer su mejor esfuerzo. El mensaje que las empresas no éticas envían a sus clientes externos es que su producto o servicio no puede competir de manera efectiva con los de otras y que deben engañar para ser redituables. Es menos probable que los empleados de empresas que intentan tener ganancias engañando creen valor verdadero para los clientes a través de la mejora de productos y servicios que pueden realzar la experiencia de los clientes. Esto erosiona la habilidad de la empresa para competir en el presente y en el futuro.

El comportamiento ético es responsabilidad de todos los empleados de una organización; no es ético engañar a los clientes sabiendo que se entregan servicios o productos defectuosos a clientes internos o externos. Debe tomarse en cuenta el bienestar de todos los que tienen intereses, como accionistas, clientes, empleados, socios y acreedores.

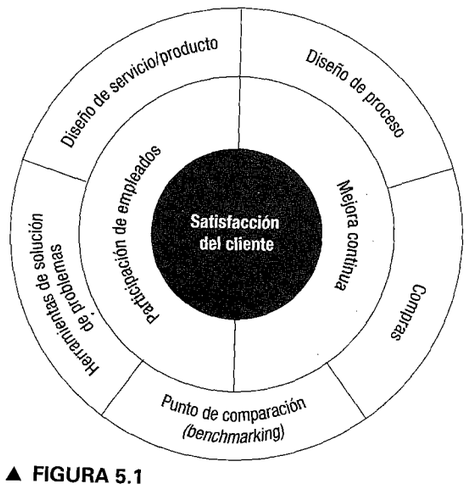
Los costos de la calidad de prevención, evaluación, fallas internas y externas deben equilibrarse con las consideraciones éticas para llegar a los procesos y enfoques adecuados para administrarlos. De cualquier manera, desarrollar un entorno cultural para el comportamiento ético no es gratis. Los empleados deben recibir educación de cómo interviene la ética en sus trabajos. La empresa puede organizar una fuerza de trabajo ética o un grupo ético de relaciones públicas para proporcionar la interacción entre la empresa y la sociedad. Tal vez se requiera documentación. Ahora volvemos la atención a una discusión acerca de la administración de la calidad total y Six Sigma, dos filosofías que las compañías utilizan para evaluar y mejorar la calidad y el desempeño de procesos en las dimensiones técnica, ética y de servicios.

administración de la calidad total (TQM)

Una filosofía que resalta tres principios para lograr altos niveles de desempeño de procesos y calidad: **1.** satisfacción del cliente, **2.** participación de empleados y **3.** mejora continua en el desempeño.

calidad

Término que usan los clientes para describir su satisfacción general con un servicio o producto.



▲ **FIGURA 5.1**
Rueda de TQM

Administración de la calidad total

La administración de la calidad total (*TQM, total quality management*) es una filosofía que subraya tres principios para lograr altos niveles de desempeño de procesos y calidad. Estos principios se relacionan con: **1.** la satisfacción del cliente, **2.** la participación de los empleados y **3.** la mejora continua en el desempeño. Como indica la figura 5.1, TQM también incluye otros elementos importantes. En el capítulo 4 cubrimos las herramientas y las técnicas de análisis de procesos útiles para resolver problemas, rediseñar y mejorar los procesos. Ahora, solo nos centraremos en los tres principios importantes de TQM.

Satisfacción del cliente

Los clientes, internos o externos, están satisfechos cuando sus expectativas en cuanto al servicio o producto se cumplen o exceden. A menudo, los clientes utilizan el término general **calidad** para describir su nivel de satisfacción con un servicio o producto. La calidad tiene múltiples dimensiones en la mente del cliente que cubren las nueve prioridades competitivas introducidas en el capítulo 1, "Uso de las operaciones para competir". Una o más de las siguientes definiciones se aplican en algún momento.

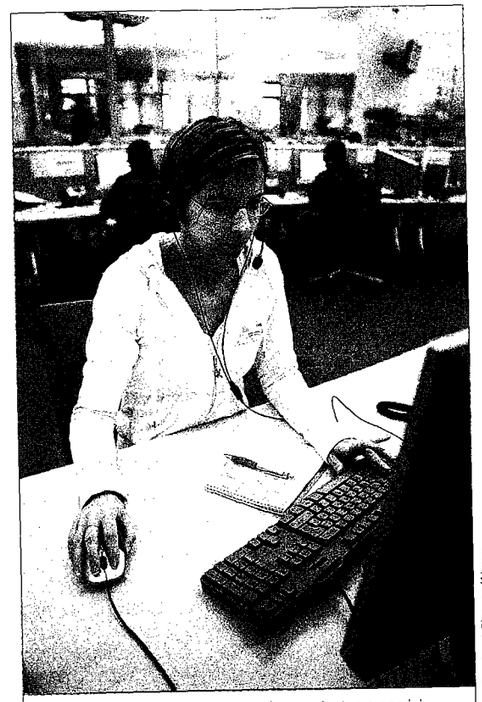
Conformidad con las especificaciones Aunque los clientes evalúan el servicio o producto que reciben, es el proceso que genera el servicio o producto el que realmente se juzga. En este caso, una falla del proceso sería su inhabilidad para cumplir ciertos estándares de desempeño implícitos o publicitados. La conformidad con las especificaciones se puede relacionar con la uniformidad en la calidad, tiempo de entrega o velocidad de entrega.

Valor Otra manera que los clientes definen la calidad es mediante el valor, o qué tan bien el servicio o producto sirve para el propósito que se diseñó a un precio que los clientes están dispuestos a pagar. El proceso de desarrollo del servicio/producto tiene un papel importante en esto, lo mismo que las prioridades competitivas de la empresa relacionadas con la calidad superior contra operaciones de bajo costo. Los dos factores deben estar nivelados para producir valor para el cliente. Cuánto valor tiene un servicio o producto en la mente del cliente depende de sus expectativas antes de comprarlo.

Adecuado para el uso Cuando se evalúa qué tan buen desempeño tiene un servicio o producto según su propósito, el cliente puede considerar la conveniencia de un servicio, las características mecánicas de un producto u otros aspectos como su apariencia, estilo, durabilidad, confiabilidad, arte y cualidad de servicio. Por ejemplo, se define la calidad de un centro de ejercicio con base en lo sencillo que fue ensamblarlo, en su apariencia y en su estilo.

Soporte A menudo el apoyo del servicio o producto proporcionado por la compañía es tan importante para los consumidores como la calidad de servicio o producto en sí. Los clientes se molestan con una compañía si sus estados financieros son incorrectos, si la respuesta a su garantía se retrasa, si la publicidad es falsa o engañosa o si sus empleados no ayudan cuando hay problemas. Una vez que se realizó la venta, un buen soporte puede reducir las consecuencias de la falla en la calidad.

Impresiones psicológicas La personas, con frecuencia, evalúan la calidad de un servicio o producto con base en sus impresiones psicológicas: ambiente, imagen o estética. Al proveer un servicio donde el cliente está en contacto cercano con el proveedor, la apariencia y las acciones del proveedor son en especial importantes. Un empleado bien vestido, cortés, amistoso y simpático influye en la percepción del cliente de un servicio de calidad.



Bernhard Classen/Alamy

Los centros de llamadas apoyan los productos o servicios de una empresa al igual que contribuyen a la impresión psicológica del cliente respecto a la experiencia. Con frecuencia, las llamadas al centro se monitorean para asegurar que el cliente ha quedado satisfecho.

Lograr la calidad en todas las áreas de un negocio es una tarea difícil. Para hacer las cosas más difíciles, los consumidores cambian sus percepciones de la calidad. En general, el éxito de un negocio depende de la exactitud con que percibe las expectativas del cliente y su habilidad para vencer las diferencias entre esas expectativas y las competencias operativas. La buena calidad da rendimientos más altos. La alta calidad en los servicios y productos puede costearse más alto y da un rendimiento mayor. La mala calidad erosiona la habilidad de la empresa para competir en el mercado e incrementa los costos de producción del servicio o producto. La práctica administrativa 5.1 muestra la manera en que Steinway & Sons equilibraron las expectativas del consumidor de los pianos finos con su habilidad para cumplir esas expectativas.

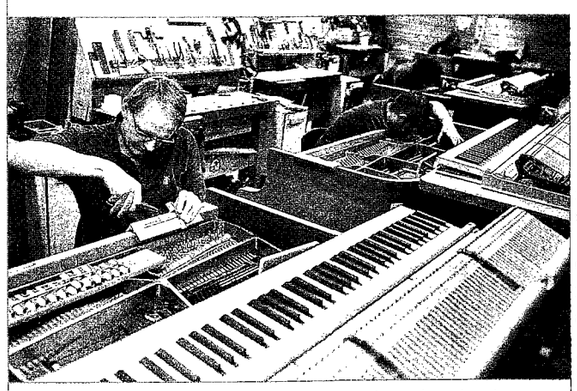
Participación de los empleados

Uno de los elementos importantes de TQM es la participación de los empleados, como se muestra en la figura 5.1. Un programa de participación de los empleados incluye cambiar la cultura de la organización y promover el trabajo en equipo.

Cambio cultural Uno de los retos más grandes al desarrollar una cultura apropiada para TQM es definir el *cliente* para cada empleado. En general, los clientes son internos o externos. Los *clientes externos* son las personas o empresas que compran el servicio o producto. Algunos empleados, en especial los que tienen poco contacto con los clientes externos, pueden tener dificultad para ver en qué contribuye su trabajo al esfuerzo total.

Es útil señalar a los empleados que cada uno tiene uno o más *clientes internos:* empleados en la empresa que dependen de lo que producen otros empleados. Todos los trabajadores deben hacer bien el trabajo de servir a sus clientes internos si al final los consumidores externos han de quedar satisfechos. Estarán satisfechos solo si cada cliente interno demanda que se agregue el valor que el cliente externo reconocerá y pagará. El concepto de clientes internos se aplica a todas las partes de la organización y resalta la coordinación entre funciones. Por ejemplo, la contabilidad debe preparar reportes precisos y a tiempo para la administración, y compras debe proporcionar materiales de alta calidad y a tiempo para las operaciones.

PRÁCTICA ADMINISTRATIVA 5.1 Calidad y desempeño en Steinway & Sons



Christian Charisius/Reuters/Corbis

Un especialista ajusta las palancas y reguladores de un piano de cola para concierto en la fábrica de Steinway & Sons en Hamburgo.

El primer concursante en la competencia internacional de piano Van Clibum está a punto de tocar el Concierto Núm. 1 para Piano de Tchaikovsky ante un auditorio lleno en Fort Worth, Texas. La tensión crece cuando su dedos se acercan al teclado del piano de cola para concierto de Steinway & Sons; tanto el concertista como el piano se desempeñan admirablemente, para alivio del concursante y del administrador de operaciones del concierto. ¿Por qué se eligió un piano Steinway para un evento tan importante? Es uno de los grandes pianos de la más alta calidad que se pueden comprar. Además, Steinway tiene un porcentaje de mercado de más de 95% en las salas de conciertos y es el piano elegido para músicos profesionales desde Van Cliburn hasta Billy Joel.

Steinway comenzó sus operaciones en 1880. Hoy, la compañía mezcla la habilidad de la artesanía, que utiliza métodos en esencia iguales a los de su inicio, con la tecnología de manufactura para producir 3,100 pianos de cola al año. Cada piano tiene alrededor de 12,000 partes, las cuales se producen en su mayoría en la fábrica. Además, cada piano Steinway tarda entre nueve meses y un año en su construcción, a diferencia de los 20 días que lleva la producción en masa de pianos. Incluso, los Steinway están formados por ocho especies diferentes de madera, cada una seleccionada por sus propiedades físicas y características estéticas. El proceso de producción orientado al oficio es meticuloso para asegurar la calidad en cada paso. Por ejemplo, cada tabla para un piano se selecciona para una parte en particular. En un proceso tardado, los artesanos curvan 17 láminas de duro maple para el piano con abrazaderas. El hermoso Sitka de Alaska se cepilla a mano para que quede arqueado, más grueso en el centro que en sus ahusadas orillas para soportar 1,000 libras de presión de más de 200 cuerdas. La "acción" del piano que contiene teclas (88 de ellas), fustiga, lanza y martillea, utiliza 100 partes fabricadas en máquinas de control numérico para que suene cada nota y se ensamblan en 30 mesas diferentes. La calidad se verifica en cada operación para evitar pasar partes defectuosas línea abajo.

Existen seis características de calidad en pianos Steinway:

- **Sonido** El tono y la afinación contribuyen a la amplitud y redondez del sonido de un piano. En un proceso llamado sonoridad, se hacen ajustes minúsculos a la almohadilla de cada martillo en la acción del piano para obtener un tono meloso o aumentar su brillantez. Luego, un regulador de tono escucha la afinación del piano y gira las clavijas de afinación para ajustar la tensión. Los Steinway son reconocidos en el mundo por su sonido; sin embargo, debido a las características naturales de la madera, cada piano tendrá su propia personalidad.
- **Terminado** Las chapas de madera se seleccionan por su belleza. Las tablas que no cumplen con los estándares se descartan, creando una gran cantidad de desperdicio.
- **Sensación** Cada una de las 88 teclas debe requerir la misma presión para activarse. En un proceso llamado "acción sobre el peso", se agrega plomo a cada tecla para obtener una sensación pareja. Las partes accionadas tienen tolerancias dentro de ±0.0005 pulgadas.
- **Durabilidad** El piano debe tener una larga vida y funcionar conforme a las expectativas durante toda ella.
- **Imagen** Existe cierta mística asociada con la marca Steinway, pues para algunas personas el poseer un Steinway es una experiencia similar a un culto.
- **Servicio** Steinway hará lo que sea para dar servicio a un piano que no opera, incluso al grado de proporcionar uno prestado para un concierto importante.

Las seis características se relacionan con cuatro de nuestras definiciones de calidad: **1.** conformidad con las especificaciones (*sensación*), **2.** adecuado para el uso (*sonido, terminado, durabilidad*), **3.** soporte (*servicio*) y **4.** impresiones psicológicas (*imagen*). En cuanto al valor, nuestra quinta definición de calidad, los pianos de cola Steinway cuestan en cualquier lugar entre $47,000 y $165,000, a menos que se quiera una recreación de nueve pies del famoso piano Alma-Tadema construido en 1887, en cuyo caso costará $675,000. ¿Desea comprar uno?

Fuentes: Andy Serwer, "Happy Birthday, Steinway", *Fortune,* vol. 147, núm. 5 (17 de marzo, 2003), pp. 94-97; Leo O'Connor, "Engineering on a Grandscale", *Mechanical Engineering,* vol. 116, núm. 10 (octubre, 1994), pp. 52-58; Steinway Musical Instruments, Inc. Annual Report 2006, **www.steinwaymusical.com; www.steinway.com/factory/tour.shtml,** 2007.

En TQM, todos en la organización deben compartir la visión de que el control de calidad es un fin en sí mismo. Los errores o defectos se deben detectar y corregir en la fuente, no deben llegar a un cliente interno o externo. Por ejemplo, un equipo consultor debe asegurar que sus horas facturadas son correctas antes de someterlas al departamento de contabilidad. Esta filosofía se llama **calidad en la fuente.** Además, las empresas deben evitar tratar de "inspeccionar la calidad del producto" con inspectores que descartan servicios no satisfactorios o productos defectuosos después de que se han realizado todas las operaciones. Por el contrario, en algunas empresas de manufactura, los trabajadores tienen la autoridad de detener una línea de producción si descubren problemas de calidad.

calidad en la fuente

Una filosofía en la que los defectos se detectan y corrigen donde se crean.

Equipos La participación de los empleados es una táctica clave para mejorar los procesos. Una manera de lograr esta participación es formando **equipos,** que son pequeños grupos de personas con un propósito común, que establecen sus propias metas de desempeño y aceptan la responsabilidad del éxito.

equipos

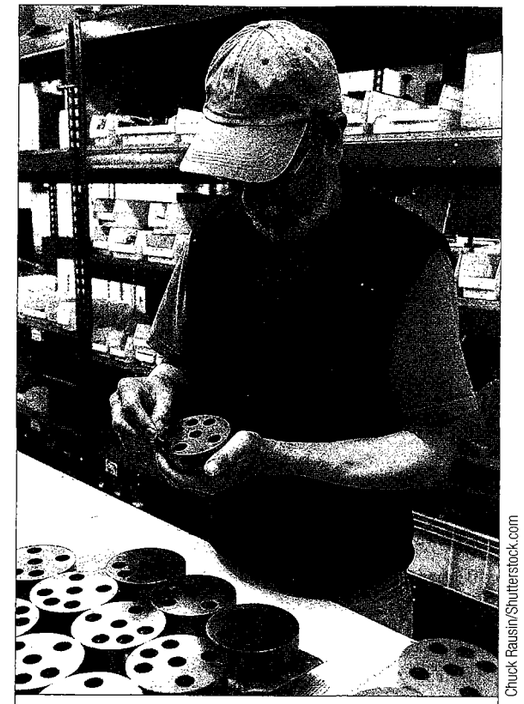
Pequeños grupos de personas que tienen un propósito común, establecen sus propias metas de desempeño y son responsables del éxito.

Los tres enfoques del trabajo en equipo que se utilizan con más frecuencia son: **1.** equipos de solución de problemas, **2.** equipos con propósito especial y **3.** equipos autoadministrados. Los tres utilizan alguna forma de **empoderamiento de empleados**, que mueve la responsabilidad de las decisiones más abajo en el organigrama, al nivel de los empleados que de hecho hacen el trabajo.

Los *equipos de solución de problemas,* también llamados **círculos de calidad**, se introdujeron por primera vez en 1920 y ganaron popularidad a finales de los 70, después de que los japoneses los aplicaron con éxito. Los equipos de solución de problemas son pequeños grupos de supervisores y empleados que se reúnen para identificar, analizar y resolver problemas de procesos y calidad. Los empleados están más orgullosos e interesados en su trabajo si se les permite ayudar a darle forma. Aunque los equipos de solución de problemas pueden tener éxito en reducir costo y mejorar la calidad, dejan de existir si la administración no implementa muchas de las sugerencias que generan.

Una derivación de los equipos de solución de problemas son los **equipos de propósito especial**, que abordan aspectos de gran preocupación para la administración, la mano de obra o ambos. Por ejemplo, la administración forma equipos de propósito especial para diseñar e introducir nuevas políticas de trabajo o nuevas tecnologías, o bien, para estudiar problemas del servicio a clientes. En esencia, este enfoque da una voz a los trabajadores en las decisiones de alto nivel. Los equipos de propósito especial aparecieron en Estados Unidos a principios de los años ochenta.

El enfoque del **equipo autoadministrado** lleva la participación del trabajador a su más alto nivel: un pequeño grupo de empleados trabajan juntos para producir una porción importante, o incluso la totalidad, de un servicio o producto. Los miembros aprenden todas las tareas requeridas en la operación, se rotan de un trabajo a otro y asumen los deberes administrativos como programación del trabajo y vacaciones, orden de suministros y contratación. En algunos casos, los miembros del equipo diseñan el proceso y tienen un alto grado de libertad en cuanto a su forma. Los equipos autoadministrados en esencia cambian la manera de organizar el trabajo porque los empleados tienen control sobre su trabajo. Algunos de estos equipos han aumentado la productividad 30% o más en sus empresas.



Chuck Rausin/Shutterstock.com

La medición del proceso es clave para mejorar la calidad. En la foto, un inspector de calidad mide el diámetro de los agujeros en una parte maquinada.

Mejora continua

La **mejora continua**, basada en un concepto japonés llamado *kaizen,* es la filosofía de buscar continuamente maneras de mejorar los procesos. La mejora continua implica identificar puntos de comparación con prácticas excelentes e instalar en el empleado un sentido de propiedad del proceso. El foco de atención de los proyectos de mejora continua es reducir tanto el desperdicio, como el tiempo requerido para procesar las solicitudes de préstamos en un banco, la cantidad de desperdicio generada en una fresadora o el número de lesiones de trabajadores en una construcción. La base de la filosofía de mejora continua es la creencia de que virtualmente cualquier aspecto de un proceso se puede mejorar y que las personas con una asociación estrecha al proceso están en la mejor posición para identificar los cambios que deben hacerse. La idea es no esperar hasta que ocurra un problema masivo antes de actuar.

Los empleados deben contar con las herramientas para resolver problemas, como los métodos de control estadístico de procesos (CEP), que se estudiarán más adelante en este capítulo, y un sentido de propiedad del operario que surge cuando los empleados sienten una responsabilidad por los procesos y métodos que utilizan y orgullo por la cantidad de servicio o producto que sale. Viene de la participación en los equipos de trabajo y de las actividades de solución de problemas, que inculca en los empleados un sentimiento de que tienen cierto control sobre su lugar de trabajo y sus tareas.

Gran parte de las empresas involucradas de manera activa en la mejora continua capacitan a sus equipos en el uso del **ciclo planear-hacer-estudiar-actuar** para la solución de problemas. Otro nombre para este enfoque es la Rueda de Deming, por el reconocido estadístico W. Edwards Deming, quien enseñó las técnicas de mejoramiento de la calidad a los japoneses después de la Segunda Guerra Mundial. La figura 5.2 muestra este ciclo, el cual está en el corazón de la filosofía de mejora continua. El ciclo comprende los siguientes pasos:

1. *Planear.* El equipo selecciona un proceso (una actividad, método, máquina o política) que necesita mejora. Luego documenta el proceso seleccionado, en general analizando datos relacionados; establece metas de calidad para mejorarlo y discute varias maneras de lograr las metas. Después de evaluar los beneficios y costos de las alternativas, el equipo desarrolla un plan con medidas cuantificables para la mejora.
2. *Hacer.* El equipo implementa el plan y monitorea el avance. Recolecta datos continuamente para medir las mejoras en el proceso. Cualesquiera cambios en él se documentan y se vuelven a revisar conforme se necesite.

autoridad de los empleados (empoderamiento)

Un enfoque para el trabajo de equipo que mueve la responsabilidad de las decisiones hacia abajo en el organigrama, al nivel de los empleados que de hecho hacen el trabajo.

círculos de calidad

Otro nombre para equipos de solución de problemas; pequeños grupos de supervisores y empleados que se reúnen para identificar, analizar y resolver problemas de procesos y calidad.

equipos de propósito especial

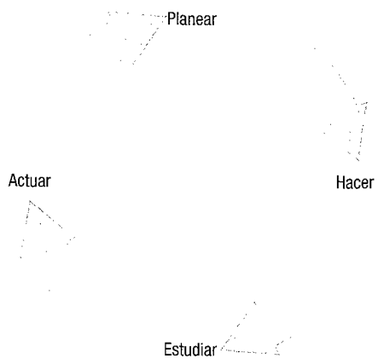
Grupos que abordan aspectos de gran importancia para la administración, la mano de obra o ambos.

equipo autoadministrado

Un pequeño grupo de empleados que trabajan juntos para producir una porción importante, o incluso la totalidad, de un servicio o producto.

mejora continua

La filosofía de buscar continuamente maneras de mejorar los procesos, basada en un concepto japonés llamado *kaizen.*



▲ **FIGURA 5.2**
Ciclo planear-hacer-estudiar-actuar

planear-hacer-estudiar-actuar
Un ciclo, también llamado Rueda de Deming, utilizado por las empresas involucradas activamente en la mejora continua para capacitar a sus equipos de trabajo en la solución de problemas.

Six Sigma
Un sistema integral y flexible para lograr, sostener y maximizar el éxito de los negocios minimizando los defectos y la variabilidad en los procesos.

3. *Estudiar.* El equipo analiza los datos recolectados durante el paso de *hacer* para encontrar qué tan cerca corresponden los resultados al conjunto de metas en el paso *planear*. Si existe un obstáculo importante, el equipo reevalúa el plan o detiene el proyecto.

4. *Actuar.* Si los resultados son exitosos, el equipo documenta el proceso revisado para que se convierta en el procedimiento estándar para el que lo use. El equipo puede entonces capacitar a otros en la utilización del proceso revisado.

Los proyectos de solución de problemas a menudo se centran en esos aspectos del proceso que agregan valor al servicio o producto. El valor se agrega en un procedimiento como maquinar una parte o servir a un cliente a través de una página Web. No se agrega valor en actividades como inspeccionar partes en busca de defectos o redirigir solicitudes de préstamos a varios departamentos. La idea de mejora continua es reducir o eliminar las actividades que no agregan valor y, por ello, son un desperdicio.

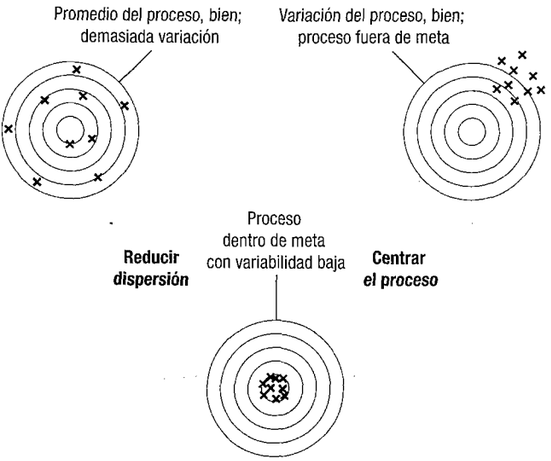
Six Sigma

Six Sigma, que se apoya fuertemente en los principios de TQM, es un sistema integral y flexible para lograr, sostener y maximizar el éxito de los negocios minimizando los defectos y la variabilidad de los procesos. Six Sigma tiene un enfoque diferente a TQM: está impulsado por una profunda comprensión de las necesidades de los clientes, el uso disciplinado de los hechos, datos y análisis estadísticos y la atención diligente de la administración, mejorando y reinventando los procesos de negocios. La figura 5.3 muestra cómo Six Sigma se centra en reducir la variación en los procesos al igual que centrarlos en sus medidas de desempeño meta. Cualquiera de las dos fallas, demasiada variación o fuera de la meta, degrada el desempeño del proceso. Por ejemplo, un departamento de préstamos hipotecarios en un banco puede anunciar las decisiones de aprobación en dos días. Si el desempeño real varía de 1 a 5 días, con un promedio de dos días, esos clientes que tuvieron que esperar más de dos días estarán molestos. La variabilidad del proceso ocasiona insatisfacción en los clientes. De manera similar, si el desempeño es uniforme produciendo las decisiones de los préstamos en tres días, todos los clientes estarán insatisfechos. En este caso, el proceso es congruente, pero está fuera de meta. Six Sigma es un enfoque riguroso para alinear a los procesos con las medidas de su desempeño meta con baja variabilidad.

El nombre de Six Sigma, desarrollado originalmente por Motorola para sus operaciones de manufactura, se relaciona con la meta de lograr tasas bajas de producción defectuosa desarrollando los procesos cuya media para una medida de desempeño está a ±6 desviaciones estándar (sigma) de los límites de las especificaciones de diseño para el servicio o producto. Estudiaremos la variabilidad y sus implicaciones sobre la capacidad de los procesos para desempeñarse a un nivel aceptable cuando presentemos las herramientas de control estadístico de procesos.

Aunque Six Sigma tenga sus raíces en la mejora de los procesos de manufactura, se acredita a General Electric por la popularización de la aplicación del enfoque a procesos no de manufactura como ventas, recursos humanos, servicio al cliente y servicios financieros. El concepto de eliminar defectos es el mismo, aunque la definición de "defecto" depende del proceso en cuestión. Por ejemplo, si un departamento de recursos humanos no cumple con la meta de contratación, cuenta como un defecto. Six Sigma ha tenido éxito al aplicarlo a una variedad de procesos de servicio, incluyendo servicios financieros, procesos de recursos humanos, procesos de marketing y procesos administrativos de cuidado de la salud.

▼ **FIGURA 5.3**
El enfoque de Six Sigma se centra en reducir la dispersión y centrar el proceso

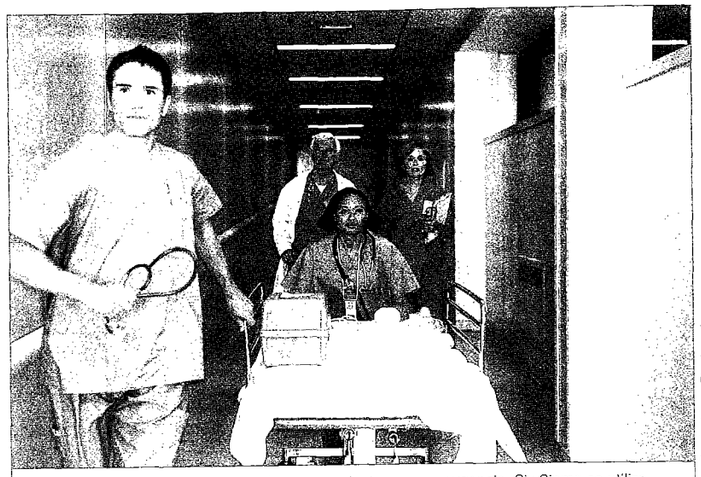


Modelo de mejoramiento Six Sigma

La figura 5.4 muestra el modelo de mejoramiento de Six Sigma, un procedimiento de cinco pasos que lleva a mejorar el desempeño del proceso. El modelo tiene una gran similitud con la figura 4.1, el plano para el análisis del proceso, por una buena razón: ambos modelos buscan mejorar el proceso. Cualquier modelo puede aplicarse a proyectos que implican mejoras crecientes a procesos o a proyectos que requieren cambios significativos, como un rediseño de un proceso existente o el desarrollo de un proceso nuevo. Sin embargo, el modelo de mejoramiento Six Sigma se apoya fuertemente en el control estadístico de procesos. Los siguientes pasos comprenden el modelo:

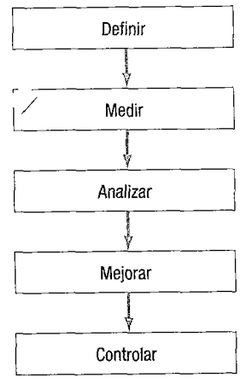
- *Definir.* Determinar las características de la salida del proceso que son cruciales para la satisfacción del cliente e identifican las diferencias entre estas características y las competencias del proceso. Obtener una fotografía del proceso actual al documentarlo utilizando *diagramas de flujo* y *diagramas de proceso.*

- *Medir.* Cuantificar el trabajo que realiza el proceso que afecta la diferencia. Seleccionar qué medir, identificar las fuentes de datos y preparar un plan de recolección de datos.
- *Analizar.* Utilizar los datos de las mediciones para realizar el análisis del proceso, aplicar herramientas como gráfica de Pareto, diagramas de dispersión, diagramas causa-efecto y las herramientas de control estadístico de procesos (CEP) de este capítulo para determinar dónde se necesitan mejoras. Sea o no necesario un rediseño, debe establecer los procedimientos para hacer la rutina de salida deseada.
- *Mejorar.* Modificar o rediseñar los métodos existentes para cumplir los nuevos objetivos de desempeño. Implantar los cambios.
- *Controlar.* Monitoree el proceso para asegurarse de que se mantienen los altos niveles de desempeño. Una vez más, las herramientas de análisis de datos como las gráficas de Pareto, las gráficas de barras, los diagramas de dispersión, al igual que las herramientas de control estadístico de procesos, se pueden usar para controlar el proceso.


Darrin Klimek/Thinkstock

Personal del hospital corren a ayudar a un paciente con una urgencia. Six Sigma se utiliza para mejorar los procesos de servicio en un hospital.

Las personas que han utilizado Six Sigma con éxito han encontrado que resulta esencial seguir de manera rigurosa los pasos en el modelo de mejoramiento Six Sigma, que algunas veces recibe el nombre de *proceso DMAIC* (que viene de la primera letra en inglés de cada paso del proceso). Para lograr las metas de Six Sigma, los trabajadores deben estar capacitados en los "porqué" y los "cómo" de la calidad y en lo que esta significa para los clientes, tanto internos como externos. Las empresas que aplican Six Sigma con éxito desarrollan una planta de instructores internos que son responsables de enseñar y asistir a los equipos involucrados en el proyecto de mejora. Estos instructores tienen diferentes títulos, dependiendo de su experiencia y nivel de logros. Los **cinta verde** dedican parte de su tiempo a enseñar y ayudar a los equipos en sus proyectos, en tanto que el resto de su tiempo suelen tener obligaciones asignadas normales. Los **cinta negra** son instructores de tiempo completo y líderes de equipos involucrados en proyectos Six Sigma. Por último, Los **cinta negra maestra** son instructores de tiempo completo que revisan el trabajo de los cinta negra y son sus mentores.



▲ **FIGURA 5.4**
Modelo de mejoramiento Six Sigma

cinta verde
Un empleado que logró el primer nivel de capacitación en el programa Six Sigma y dedica parte de su tiempo enseñando y ayudando a equipos con proyectos.

cinta negra
Un empleado que llegó al nivel más alto de capacitación en un programa Six Sigma y dedica todo su tiempo a enseñar y liderar equipos que participan en proyectos Six Sigma.

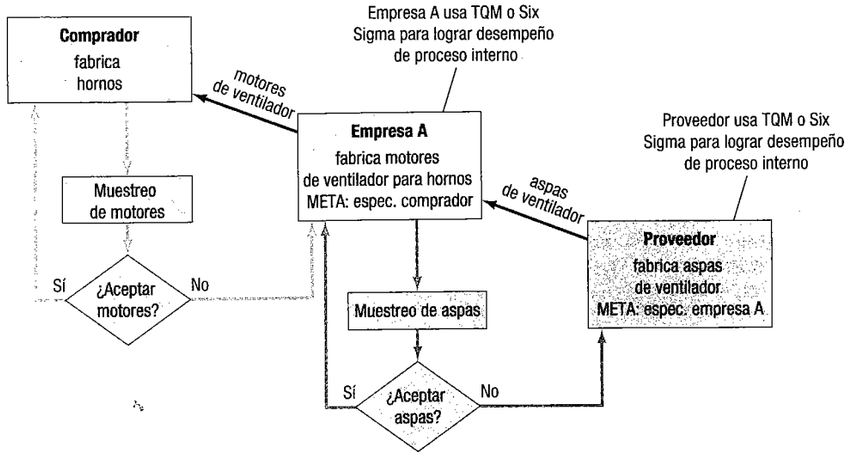
maestro cinta negra
Profesores de tiempo completo y mentores de varias cintas negras.

Muestreo de aceptación

Antes de poder evaluar el desempeño de un proceso interno, las entradas y salidas de este deben ser de buena calidad. El **muestreo de aceptación**, que es la aplicación de técnicas estadísticas para determinar si un lote de material de un proveedor debe aceptarse o rechazarse según la inspección o pruebas de una o más muestras, limita el riesgo del comprador de rechazar materiales de buena calidad (y retrasos innecesarios de la producción de bienes o servicios) o de aceptar materiales de mala calidad (e incurrir en paros debidos a materiales defectuosos o que lleguen productos malos a los consumidores). Respecto a las especificaciones para el material que se compra, el comprador especifica un **nivel de calidad aceptable (*AQL, acceptable quality level*)**, que es una declaración de la proporción de artículos defectuosos (fuera de especificación) que el comprador aceptará en un envío. En la actualidad, la proporción es cada vez menor, a menudo medida en partes por diez mil. La idea del muestreo de aceptación es tomar una muestra, en lugar de hacer pruebas en todo el material, porque suele ser menos costoso. Ahí está el riesgo, la muestra puede no ser representativa de todo el lote de bienes del proveedor. El procedimiento básico es sencillo.

1. Se toma una muestra aleatoria de una gran cantidad de artículos y se prueba o mide respecto a las especificaciones o medidas de calidad de interés.
2. Si la muestra pasa la prueba (número de defectos bajo), el lote completo se acepta.
3. Si la muestra no pasa la prueba, ocurre que: *a)* el lote completo está sujeto a 100% de inspección y todos los artículos defectuosos se reparan o reemplazan, o *b)* el lote completo se regresa al proveedor.

En una cadena de suministro, cualquier compañía puede ser tanto productor de bienes comprados por otra compañía como consumidor de bienes o materiales suministrados por otra compañía. La figura 5.5 muestra un diagrama de flujo de la manera en que el muestreo de aceptación y el desempeño del proceso interno (TQM o Six Sigma) interactúan en una cadena de suministro. Desde



▲ **FIGURA 5.5**
Interacción de muestreo de aceptación y enfoque de desempeño de procesos en una cadena de suministro

el punto de vista de la cadena de suministro, las especificaciones del comprador para las distintas dimensiones de la calidad se convierten en las metas que intenta lograr el proveedor en un contrato. Los procesos internos del proveedor deben estar a la altura de la tarea; TQM o Six Sigma pueden ayudar a lograr el desempeño deseado. El plan de muestreo del comprador proporciona una alta probabilidad de aceptación (AQL). El suplemento G de MyOMLab, "Planes de muestreo de aceptación", muestra cómo diseñar un plan de muestreo de aceptación que cumpla con el nivel de riesgo deseado.

Control estadístico de procesos

Sin importar si una empresa produce un servicio o un producto, es primordial asegurar que los procesos de esa empresa proporcionen la calidad que los consumidores quieren. Un elemento clave de TQM o Six Sigma es construir la habilidad de monitorear el desempeño de los procesos para que pueda iniciarse una acción correctiva oportuna. Evaluar el desempeño de procesos requiere varios enfoques para recolectar datos. Ya presentamos listas de verificación, histogramas y gráficas de barras, gráficas de Pareto, diagramas de dispersión, diagramas causa-efecto y gráficas (vea el capítulo 4. "Análisis de procesos"). Todas estas herramientas se pueden usar con TQM o Six Sigma. Aquí centramos la atención en las herramientas estadísticas poderosas que se sirven para monitorear y administrar procesos repetitivos.

nivel de calidad aceptable (AQL)
Nivel de calidad deseado por el consumidor.

muestreo de aceptación
Aplicación de técnicas estadísticas para determinar si un lote de material se debe aceptar o rechazar según la inspección o pruebas de la muestra.

control estadístico de procesos (CEP)
Aplicación de técnicas estadísticas para determinar si un proceso entrega lo que el cliente quiere.

El **control estadístico de procesos (CEP)** es la aplicación de técnicas estadísticas para determinar si un proceso está entregando lo que los clientes quieren. En el **CEP**, las herramientas llamadas gráficas de control se utilizan principalmente para detectar servicios o productos defectuosos o para indicar que el proceso ha cambiado y que los servicios o productos se desviarán de sus especificaciones de diseño, a menos que se haga algo para corregir la situación. El **CEP** también puede informar a la administración de los cambios de procesos mejorados. Los ejemplos de cambios de procesos que se detectan con el **CEP** incluyen lo siguiente:

- Una disminución en el número promedio de quejas por día en un hotel.
- Un incremento repentino en la proporción de cajas de velocidades defectuosas.
- Un incremento en el tiempo para procesar una solicitud de hipoteca.
- Una declinación en el número de unidades desperdiciadas en una fresadora.
- Un incremento en el número de reclamaciones que reciben el pago tarde de una compañía de seguros.

Considere la última situación. Suponga que el administrador del departamento de cuentas por pagar de una compañía de seguros observa que la proporción de reclamaciones que reciben el pago tarde se eleva de un promedio de 0.01 a 0.03. La primera cuestión es si el incremento es una causa de alarma o solo una ocurrencia fortuita. El control estadístico de procesos ayuda al administrador a decidir si debe tomar acción. Si el incremento en la proporción no es solo aleatorio, el administrador debe buscar explicaciones del mal desempeño. Quizá el número de reclamaciones aumentó significativamente, ocasionando una sobrecarga en los empleados del departamento. La decisión puede ser contratar más personal. O tal vez el procedimiento que se utiliza no es efectivo o la capacitación de los empleados es inadecuada. El CEP es una parte integral de TQM y Six Sigma.

Variación de la salida

No hay dos servicios o productos exactamente iguales, porque los procesos que se utilizan para producirlos contienen muchas fuentes de variación, aun cuando los procesos trabajen como se supone. De cualquier forma, es importante minimizar la variación de las salidas porque con frecuencia la variación es lo que el cliente ve y siente. Suponga que una clínica médica presenta reclamaciones en nombre de sus pacientes a una compañía de seguros en particular. En esta situación, la clínica

médica es el cliente del proceso de pagos de la compañía de seguros. En algunos casos, la clínica recibe el pago en cuatro semanas y en otros en 20. El tiempo para procesar una solicitud de pago varía debido a la carga de trabajo en los procesos de la compañía de seguros, la historia médica del paciente y las habilidades y actitudes de los empleados. Mientras tanto, la clínica debe cubrir sus gastos y esperar el pago. Sin importar si la salida del proceso es un servicio o un producto, nada se puede hacer para eliminar por completo la variación en la salida; sin embargo, la administración debe investigar las causas de la variación para minimizarla.

Medición del desempeño El desempeño se puede evaluar de dos maneras. Una es medir **variables**; esto es, las características del servicio o producto, como peso, longitud, volumen o tiempo que se puedan medir. La ventaja de usar variables de desempeño, es que si un servicio o producto falla en sus especificaciones de desempeño, el inspector sabe en qué rango. La desventaja es que esas mediciones suelen requerir equipo especial, habilidades del empleado, procedimientos de exactitud y tiempo y esfuerzo.

Otra manera de evaluar el desempeño es medir **atributos;** es rápido *contar* las características de servicios o productos para un desempeño aceptable. Este método permite a los inspectores tomar decisiones sencillas de "sí o no" acerca de la conformidad con las especificaciones del servicio o producto. Los atributos se utilizan con frecuencia cuando las especificaciones de desempeño son complejas y la medición de las variables es difícil o costosa. Algunos ejemplos de atributos que se pueden contar son el número de formas de seguros que contienen errores que ocasionan sub o sobrepagos, la proporción de vuelos que llegan dentro de los 15 minutos del horario programado y el número de ensambles de tapas de estufa con manchas de pintura.

La ventaja de contar atributos es que se necesita menos esfuerzo y menos recursos que al medir variables. La desventaja es que, aunque las cuentas de atributos pueden revelar que el desempeño del proceso ha cambiado, no indican cuánto. Por ejemplo, una cuenta puede determinar que la proporción de vuelos que llegan dentro de los 15 minutos de su horario programado declinó, pero el resultado no muestra en cuánto tiempo más después de la tolerancia de 15 minutos. Para eso tendría que medirse la desviación real de la llegada programada, una variable.

Muestreo El enfoque más completo para la inspección es observar la calidad de cada servicio o producto en cada etapa del proceso. Este método, llamado *inspección completa* se utiliza cuando los costos de pasar defectos a un cliente interno o externo sobrepasan los costos de inspección. Las empresas muchas veces utilizan equipo de inspección automatizada que registra, resume y despliega datos. Muchas compañías encuentran que el equipo de inspección automatizada se paga a sí mismo en un tiempo razonablemente corto.

Un **plan de muestreo** bien concebido puede acercarse al mismo grado de protección que la inspección completa. Un plan de muestreo especifica un **tamaño de muestra**, que es una cantidad de observaciones aleatorias de las salidas del proceso, el tiempo entre muestras sucesivas y las reglas de decisión que determinan cuándo debe tomarse una acción. El muestreo es apropiado cuando los costos de inspección son altos debido al conocimiento especial, habilidades, procedimientos y equipo costoso que se requieren para realizar las inspecciones o debido a que las pruebas son destructivas.

Distribuciones muestrales Respecto a una medida de desempeño, un proceso producirá una salida que se puede describir mediante una *distribución del proceso*, con una media y una variancia que se conocerán solo con una inspección completa, con exactitud de 100%. El propósito del muestreo es estimar la medida de variable o atributo para la salida del proceso sin hacer una inspección completa. Luego esa medida se usa para evaluar el desempeño del proceso en sí. Por ejemplo, el tiempo requerido (una medida de la variable) para procesar especímenes en el laboratorio de una unidad de cuidado intensivo en un hospital tiene variación. Si se mide el tiempo para completar un análisis de un número grande de pacientes y grafica los resultados, los datos tenderán a formar un patrón que se puede describir como una distribución del proceso. Con el muestreo, tratamos de estimar los parámetros de la distribución del proceso con estadísticas como la media de la muestra y el rango de la muestra o la desviación estándar.

1. La *media de la muestra* es la suma de las observaciones dividida entre el número total de observaciones.

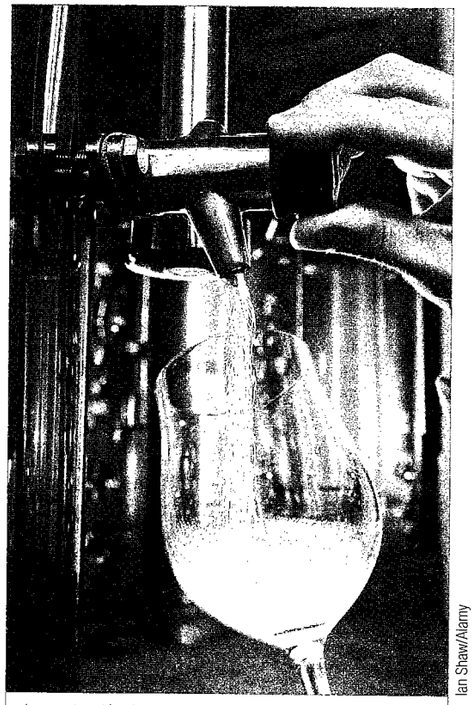
$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$

variables
Características del servicio o producto, como peso, longitud, volumen o tiempo, que se pueden medir.

atributos
Características del servicio o producto que se pueden contar con rapidez para la aceptación del desempeño.

plan de muestreo
Plan que especifica un tamaño de muestra, el tiempo entre muestras sucesivas y las reglas de decisión que determinan cuándo debe tomarse una acción.

tamaño de muestra
Cantidad de observaciones seleccionadas de manera aleatoria de la salida del proceso.



Ian Shaw/Alamy

La producción de vino es un ejemplo de una situación en la que la inspección completa no es una opción. En la foto, un inspector de calidad obtiene una muestra de vino blanco de un tanque de maduración de acero inoxidable.

donde:

x_i = observación de una característica de calidad (como tiempo)

n = número total de observaciones

$\bar{x}$ = media

2. El *rango* es la diferencia entre la observación más grande en una muestra y la más pequeña. *La desviación estándar* es la raíz cuadrada de la variancia de una distribución. Una estimación de la desviación estándar del proceso basada en una muestra está dada por

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad \text{o} \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} x^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2}{n}}{n-1}}$$

donde:

σ = desviación estándar de la muestra

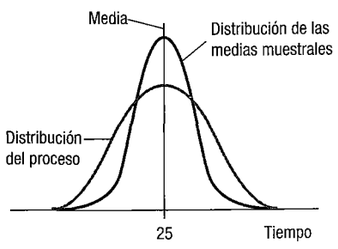
n = número total de observaciones

$\bar{x}$ = media

x_i = observación de una característica de calidad

Los valores relativamente pequeños para el rango o la desviación estándar implican que las observaciones están agrupadas cerca de la media.

Estas estadísticas de la muestra tienen su propia distribución, a la cual llamamos *distribución muestral.* Por ejemplo, en el proceso de análisis de laboratorio, una variable de desempeño es el tiempo que toma obtener resultados para la unidad de cuidados críticos. Suponga que la administración desea que los resultados estén disponibles en 25 minutos en promedio; esto es, quiere que la distribución del proceso tenga una media de 25 minutos. Un inspector que periódicamente toma una muestra de cinco análisis y calcula la media de la muestra puede con ella determinar qué tan bien funciona el proceso. Suponga que ese proceso de hecho produce análisis con una media de 25 minutos. Una gráfica de un número grande de estas muestras mostrará que tienen su propia distribución muestral con la media centrada en 25 minutos, lo mismo que la media de la distribución del proceso, pero con menos variabilidad. La razón es que las medias de las muestras compensan los altos y bajos de los tiempos individuales en cada muestra. La figura 5.6 presenta la relación entre la distribución muestral de las medias de las muestras y la distribución del proceso para los tiempos de análisis.



▲ **FIGURA 5.6**
Relación entre la distribución de las medias muestrales y la distribución del proceso

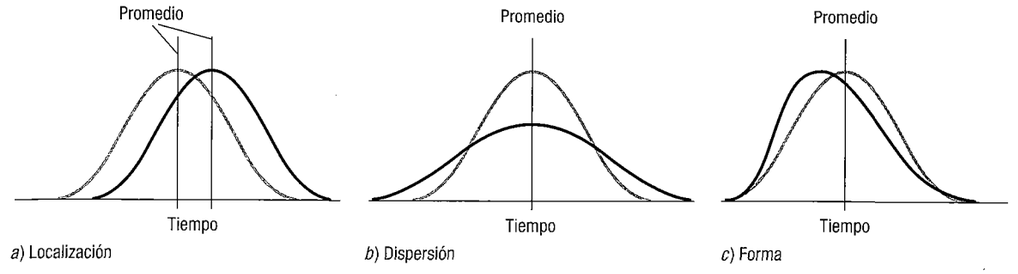
Algunas distribuciones muestrales (por ejemplo, para las medias con tamaños de muestra de cuatro o más y proporciones con tamaños de muestra de 20 o más) se pueden aproximar por una distribución normal, permitiendo aprovechar las tablas normales (vea el apéndice 1, "Distribución normal"). Por ejemplo, suponga que desea determinar la probabilidad de que una media muestral sea más de 2.0 desviaciones estándar, más grande que la media del proceso. Vaya al apéndice 1 y vea que el elemento en la tabla para $z = 2.0$ desviaciones estándar es 0.9772. En consecuencia, la probabilidad es 1.0000 – 0.9772 = 0.0228, o 2.28%. La probabilidad de que la media de la muestra sea menor por más de 2.0 desviaciones estándar que la media de la muestra también es 2.28% porque la distribución normal es simétrica alrededor de la media. La habilidad de asignar probabilidades a los resultados de la muestra es importante para la elaboración de las gráficas de control.

causas comunes de variación
Fuentes de variación aleatorias puras, no identificables que son inevitables con el proceso actual.

Causas comunes Las dos categorías básicas para la variación en la salida incluyen causas comunes y causas asignables. Las **causas comunes de variación** son las fuentes de variación aleatorias puras, no identificables e inevitables con el proceso actual. Una distribución de proceso se puede caracterizar por su *localización, dispersión y forma.* La localización se determina con la *media* de la distribución, mientras que la dispersión se mide por el *rango* o *desviación estándar.* La forma de la distribución del proceso se caracteriza como simétrica o sesgada. Una distribución *simétrica* tiene el mismo número de observaciones arriba y abajo de la media. Una distribución *sesgada* tiene mayor número de observaciones ya sea arriba o abajo de la media. Si la variabilidad del proceso proviene únicamente de causas comunes de variación, una suposición típica es que la distribución es simétrica, con la mayor parte de las observaciones cerca del centro.

causas asignables de variación
Cualesquiera factores que causan variación y que se pueden identificar y eliminar.

Causas asignables La segunda categoría de variación, las **causas asignables de variación**, también conocidas como *causas especiales,* incluye cualesquiera factores de variación que se pueden identificar y eliminar. Las causas asignables de variación incluyen un empleado que necesita capacitación o una máquina que requiere una parte. Regresemos al ejemplo del proceso de análisis de



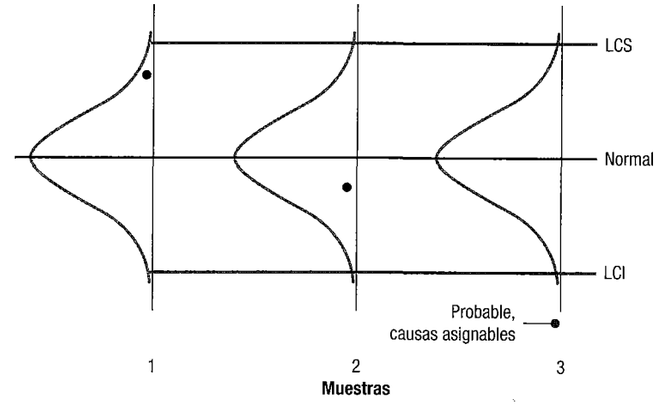
laboratorio. La figura 5.7 muestra cómo las causas asignables pueden cambiar la distribución de la salida para el proceso de análisis. La curva gris claro es la distribución del proceso cuando solo están presentes causas comunes de variación. Las curvas negras describen un cambio en la distribución debido a causas asignables. En la figura 5.7*a*), la curva negra indica que en muchos casos el proceso tomó más tiempo que lo planeado, aumentando con esto el tiempo promedio de los análisis. En la figura 5.7*b*), un incremento en la variabilidad del tiempo para cada caso afectó la dispersión de la distribución. Por último, en la figura 5.7*c*), la curva negra indica que el proceso produjo una preponderancia de las pruebas en menos del tiempo promedio. Esta distribución está sesgada, o ya no es simétrica para el valor promedio. Se dice que un proceso está bajo control estadístico cuando la localización, dispersión o forma de la distribución no cambian con el tiempo. Después de que el proceso está bajo control estadístico, los administradores utilizan los procedimientos de CEP para detectar la aparición de causas asignables para poder abordarlas.

▲ **FIGURA 5.7**
Efectos de causas asignables sobre la distribución del proceso para el proceso de análisis de laboratorio

gráfica de control
Diagrama ordenado en el tiempo que se utiliza para determinar si las variaciones observadas son anormales.

Gráficas de control

Para determinar si las variaciones observadas son anormales, podemos medir y graficar las medidas de desempeño tomadas de la muestra en un diagrama ordenado por tiempo llamado **gráfica de control**. Una gráfica de control tiene un valor nominal, o una línea central, que puede ser el promedio histórico del proceso o una meta que la administración desea lograr en el proceso, y dos límites de control basados en la distribución muestral de la medida de la calidad. Los límites de control se usan para juzgar si se requiere una acción. El valor más gra \ e representa el *límite de control superior* (LCS) y el valor más pequeño representa el *límite de control inferior* (LCI). La figura 5.8 presenta la relación de los límites de control con la distribución muestral. Una estadística que cae dentro del LCS y el LCI indica que el proceso exhibe solo causas comunes de variación. Una estadística que cae fuera de los límites de control indica que el proceso exhibe causas asignables de variación.



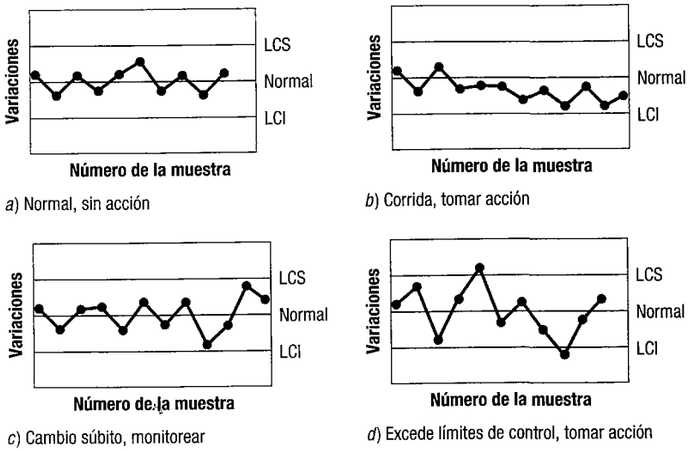
▲ **FIGURA 5.8**
Relación de los límites de control con la distribución muestral: observaciones de tres muestras

Las observaciones que caen fuera de los límites de control no siempre significan mala calidad. Por ejemplo, en la figura 5.8 la causa asignable puede ser un nuevo proceso de facturación introducido para reducir el número de facturas incorrectas enviadas a los clientes. Si la proporción de facturas incorrectas, es decir si la medida de desempeño de una muestra de facturas, cae *abajo* del LCI de la gráfica de control, es probable que el nuevo procedimiento haya mejorado el proceso de facturación y debe elaborarse una nueva gráfica de control.

Los administradores o empleados responsables de evaluar un proceso pueden utilizar las gráficas de control de la siguiente manera:

1. Tomar una muestra aleatoria del proceso y calcular una medida de desempeño de una variable o un atributo.
2. Si la estadística cae fuera de los límites de control o exhibe un comportamiento inusual, buscar una causa asignable.
3. Eliminar la causa, si degrada el desempeño; incorporar la causa, si mejora el desempeño. Elaborar una nueva grafica de control con los datos.
4. Repetir el procedimiento periódicamente.

Algunas veces se pueden detectar problemas con un proceso aunque los límites de control no se hayan excedido. La figura 5.9 contiene cuatro ejemplos de gráficas de control. La gráfica *a*) expone un proceso que está bajo control estadístico. No es necesario tomar acción. Sin embargo, la gráfica *b*) presenta un patrón llamado una *corrida* o una secuencia de observaciones con ciertas



▲ **FIGURA 5.9**
Ejemplos de gráficas de control

características. Una regla típica es tomar una acción remedial cuando cinco o más observaciones presentan una tendencia hacia arriba o hacia abajo, aun cuando los puntos no hayan excedido los límites de control. En este caso, nueve observaciones secuenciales están abajo de la media y tienen una tendencia hacia abajo. La probabilidad de que este resultado pueda deberse al azar es baja.

La gráfica *c*) revela que el proceso tiene un cambio súbito respecto a su patrón normal. Las últimas cuatro observaciones son inusuales: la primera baja cerca del LCI, la siguiente sube al LCS y la cuarta permanece arriba del valor nominal. Los administradores o empleados deben monitorear procesos con este tipo de cambios repentinos aunque los límites de control no se excedan. Por último la gráfica *d*) indica que el proceso se salió de control dos veces porque dos resultados muestrales están fuera de los límites de control. La probabilidad de que la distribución del proceso haya cambiado es alta. Se estudiarán más implicaciones de estar fuera de control estadístico cuando se vean las competencias del proceso más adelante en este capítulo.

Las gráficas de control no son herramientas perfectas para detectar cambios en la distribución del proceso porque se basan en las distribuciones muestrales. Es posible que ocurran dos errores al utilizar gráficas de control. Un **error tipo I** ocurre cuando se llega a la conclusión de que el proceso está fuera de control porque un resultado muestral cae fuera de los límites de control, cuando en realidad fue puramente aleatorio. Un **error tipo II** ocurre cuando la conclusión es que el proceso está bajo control y solo está presente el azar, cuando en realidad el proceso está fuera del control estadístico.

error tipo I
Error que ocurre cuando el empleado concluye que el proceso está fuera de control basado en que un resultado de la muestra cae fuera de los límites de control, cuando en realidad se debió al azar.

error tipo II
Error que ocurre cuando el empleado concluye que el proceso está bajo control y solo el azar está presente, cuando en realidad el proceso está fuera del control estadístico.

Estos errores se pueden controlar con la selección de los límites de control. La elección dependerá de los costos de buscar causas asignables cuando no existen, contra el costo de no detectar un cambio en el proceso. Por ejemplo, establecer los límites de control a +/– tres desviaciones estándar de la media reduce el error tipo I porque existe una probabilidad de 0.26% de que un resultado de la muestra esté fuera de los límites de control, a menos que el proceso esté fuera de control estadístico. Sin embargo, el error tipo II puede ser significativo; cambios más sutiles en la naturaleza de la distribución del proceso pasarán sin detectarse por la amplia separación de los límites. De otra manera, la separación de los límites de control se puede reducir a +/– dos desviaciones estándar, aumentando la probabilidad de que los resultados de la muestra de un proceso sin falla caigan fuera de los límites de control a 4.56%. Ahora, el error tipo II es más pequeño, pero el error tipo I ocurre más porque es posible que los empleados busquen causas asignables cuando el resultado de la muestra es solo aleatorio. Como regla general, se utilizan límites más amplios cuando el costo de buscar causas asignables es alto comparado con el costo de no detectar un cambio en la distribución del proceso.

Métodos de control estadístico de procesos

Los métodos de control estadístico de procesos (CEP) son útiles para medir el desempeño actual del proceso y para detectar cambios en el proceso que afectarán el desempeño futuro. En esta sección, primero analizamos las gráficas de media y rango para medidas de variables de desempeño y luego consideramos las gráficas de control para medidas de atributos.

Gráficas de control por variables

Las gráficas de control por variables se usan para monitorear la media y la variabilidad de la distribución del proceso.

Gráfica *R* Una gráfica de rango, o ***gráfica R***, se usa para supervisar la variabilidad del proceso. Para calcular el rango de un conjunto de datos muestrales, el analista resta la medida más pequeña de la más grande en cada muestra. Si cualquiera de los rangos está fuera de los límites de control, la variabilidad del proceso no está bajo control.

gráfica *R*
Una gráfica para monitorear la variabilidad del proceso.

Los límites de control para la gráfica R son:

$$\text{LCS}_R = D_4\overline{R} \quad \text{y} \quad \text{LCI}_R = D_3\overline{R}$$

donde

$\overline{R}$ = promedio de varios valores R anteriores y la línea central de la gráfica de control
D_3, D_4 = constantes que proporcionan límites a tres desviaciones estándar (3σ) para un tamaño de muestra dado.

Observe que los valores de D_3 y D_4 mostrados en la tabla 5.1 cambian en función del tamaño de la muestra. Observe también que la separación entre los límites de control disminuye cuando el tamaño de la muestra aumenta. Este cambio es una consecuencia de tener más información en la cual basar una estimación para el rango del proceso.

TABLA 5.1 FACTORES PARA CALCULAR LÍMITES DE TRES SIGMAS PARA LA GRÁFICA $\overline{x}$ Y LA GRÁFICA R

Tamaño de la muestra (n)	Factor para LCS y LCI para la gráfica $\overline{x}$ (A_2)	Factor para LCI para la gráfica R (D_3)	Factor para LCS para la gráfica R (D_4)
2	1.880	0	3.267
3	1.023	0	2.575
4	0.729	0	2.282
5	0.577	0	2.115
6	0.483	0	2.004
7	0.419	0.076	1.924
8	0.373	0.136	1.864
9	0.337	0.184	1.816
10	0.308	0.223	1.777

Fuente: Reimpreso con permiso de *ASTM Manual on Quality Control of Materials,* copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428.

Gráfica $\overline{x}$ Una **gráfica $\overline{x}$** (leído "gráfica x barra") se usa para ver si el proceso está generando una salida congruente, en promedio, con el valor meta establecido por la administración para este proceso o si su desempeño actual, respecto al promedio de la medida de desempeño, es congruente con su desempeño pasado. Un valor meta es útil cuando un proceso se rediseña por completo y el desempeño pasado ya no es relevante. Cuando se identifican causas asignables de la variabilidad del proceso y este está bajo control estadístico, el analista puede construir una gráfica $\overline{x}$. Los límites de control para la gráfica $\overline{x}$ son:

gráfica $\overline{x}$
Gráfica utilizada para ver si, en promedio, el proceso está generando una salida que es congruente con un valor meta establecido por la administración o si su desempeño actual respecto a la medida de desempeño promedio es congruente con el desempeño anterior.

$$\text{LCS}_{\overline{x}} = \overline{\overline{x}} + A_2\overline{R} \quad \text{y} \quad \text{LCI}_{\overline{x}} = \overline{\overline{x}} - A_2\overline{R}$$

donde:

$\overline{\overline{x}}$ = línea central de la gráfica, que puede ser el promedio de medias muestrales pasadas, o bien, un valor meta establecido para el proceso.
A_2 = constante proporcionada por los límites de tres sigmas para la media muestral

Los valores de A_2 están en la tabla 5.1. Observe que los límites de control utilizan el valor de $\overline{R}$; por lo tanto, la gráfica $\overline{x}$ debe construirse *después* de que la variabilidad del proceso está bajo control. Para desarrollar y utilizar las gráficas $\overline{x}$ y las gráficas R, debe hacerse lo siguiente:

Paso 1. Recolectar datos de la medida de calidad de la variable (tiempo, peso y diámetro) y organizar los datos por número de muestra. De preferencia, deben tomarse por lo menos 20 muestras de tamaño n para construir una gráfica de control.

Paso 2. Calcular el rango de cada muestra y el rango promedio, $\overline{R}$, para el conjunto de muestras.

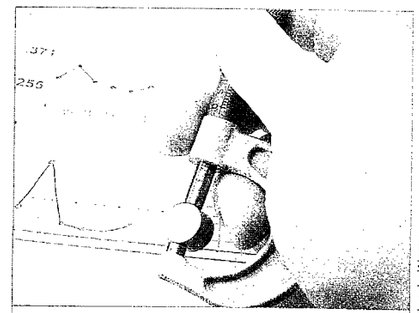
Paso 3. Utilizar la tabla 5.1 para determinar los límites de control superior e inferior de la gráfica R.

Paso 4. Graficar los rangos muestrales. Si todos están bajo control, proceder al paso 5. De otra manera, encontrar las causas asignables, corregirlas y regresar al paso 1.

Paso 5. Calcular $\overline{x}$ para cada muestra y determinar la línea central de la gráfica, $\overline{\overline{x}}$.

Paso 6. Usar la tabla 5.1 para determinar los parámetros para $\text{LCS}_{\overline{x}}$ y $\text{LCI}_{\overline{x}}$ y construir la gráfica $\overline{x}$.

Paso 7. Graficar las medias muestrales. Si todas están bajo control, el proceso está en control estadístico en términos del promedio del proceso y la variabilidad del proceso. Continuar tomando muestras y monitorear el proceso.



Un analista mide el diámetro de una pieza, con un micrómetro. Después de medir la muestra, grafica el rango en la gráfica de control.

Lyroky/Alamy

Si alguna está fuera de control, encontrar las causas asignables, atenderlas y regresar al paso 1. Si no se encuentran causas asignables después de una búsqueda rápida, suponga que los puntos fuera de control representan causas comunes de variación y continúe monitoreando el proceso.

EJEMPLO 5.1 Utilización de las gráficas $\bar{x}$ y las gráficas R para monitorear un proceso

MyOMLab

El modelo activo 5.1 es una perspectiva adicional sobre las gráficas x y las gráficas *R* y sus aplicaciones para el problema de los tornillos

MyOMLab

El tutor 5.1 en MyOMLab proporciona un nuevo ejemplo para practicar el uso de las gráficas *x* barra y *R*.

El administrador de West Allis Industries está preocupado por la producción de un tornillo que utilizan varios de los clientes grandes de la compañía. El diámetro del tornillo es crucial para estos. Los datos de cinco muestras se presentan en la siguiente tabla. El tamaño de la muestra es 4. ¿Está el proceso bajo control?

SOLUCIÓN

Paso 1. Por sencillez, se usan solo cinco muestras. En la práctica, sería deseable contar con más de 20 muestras. Los datos se presentan en la siguiente tabla.

DATOS PARA LAS GRÁFICAS $\bar{x}$ Y R: OBSERVACIONES DEL DIÁMETRO DEL TORNILLO (PULGADAS)

	Observaciones					
Número de la muestra	1	2	3	4	R	$\bar{x}$
1	0.5014	0.5022	0.5009	0.5027	0.0018	0.5018
2	0.5021	0.5041	0.5024	0.5020	0.0021	0.5027
3	0.5018	0.5026	0.5035	0.5023	0.0017	0.5026
4	0.5008	0.5034	0.5024	0.5015	0.0026	0.5020
5	0.5041	0.5056	0.5034	0.5047	0.0022	0.5045
				Promedio	0.0021	0.5027

Paso 2. Calcule el rango de cada muestra restando el valor menor del más alto. Por ejemplo, en la muestra 1 el rango es 0.5027 – 0.5009 = 0.0018 pulgadas. De manera similar, los rangos de las muestras 2, 3, 4 y 5 son 0.0021, 0.0017, 0.0026 y 0.0022 pulgadas, respectivamente. Como se ve en la tabla, $\bar{R} = 0.0021$.

Paso 3. Para construir la gráfica *R*, seleccione las constantes apropiadas de la tabla 5.1 para un tamaño de muestra de 4. Los límites de control son:

$$LCS_R = D_4\bar{R} = 2.282(0.0021) = 0.00479 \text{ pulgadas}$$

$$LCI_R = D_3\bar{R} = 0(0.0021) = 0 \text{ pulgadas}$$

Paso 4. Grafique los rangos en la gráfica *R*, como se ve en la figura 5.10. Ninguno de los rangos de la muestra cae fuera de los límites de control. En consecuencia, la variabilidad del proceso está en control estadístico. Si alguno de los rangos muestrales cae fuera de los límites o si aparece un patrón inusual (véase la figura 5.9), buscamos las causas de la variabilidad excesiva, la atendemos y regresamos al paso 1.

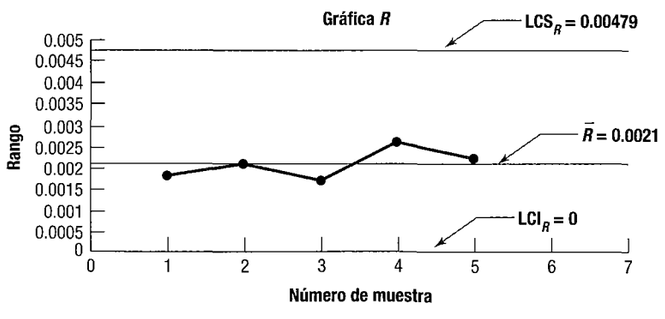


FIGURA 5.10 ▶
Gráfica de rangos del Solver de gráficas $\bar{x}$ y R de OM Explorer que muestra que la variabilidad del proceso está bajo control

Paso 5. Calcule la media para cada muestra. Por ejemplo, la media de la muestra 1 es

$$\frac{0.5014 + 0.5022 + 0.5009 + 0.5027}{4} = 0.5018 \text{ pulgadas.}$$

De manera similar, las medias de las muestras 2, 3, 4 y 5 son 0.5027, 0.5026, 0.5020 y 0.5045, respectivamente. Como se ve en la tabla, $\bar{\bar{x}} = 0.5027$.

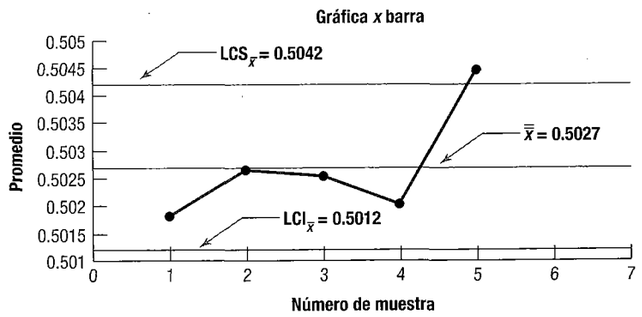
Paso 6. Ahora, construya la gráfica $\bar{x}$ para el promedio de proceso. El diámetro promedio de los tornillos es 0.5027 pulgadas y el rango promedio es 0.0021 pulgadas, de manera que utilice $\bar{\bar{x}} = 0.5027$, $\bar{R} = 0.0021$ y A_2 de la tabla 5.1 para un tamaño de muestra de 4 para construir los límites de control.

$$LCS_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R} = 0.5027 + 0.729(0.0021) = 0.5042 \text{ pulgadas}$$

$$LCI_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R} = 0.5027 - 0.729(0.0021) = 0.5012 \text{ pulgadas}$$

Paso 7. Grafique las medias muestrales en la gráfica de control como se observa en la figura 5.11.

La media de la muestra 5 cae arriba del LCS, esto indica que el promedio del proceso está fuera de control estadístico y que debe explorarse la causa asignable, quizá usando un diagrama causa-efecto.



◀ FIGURA 5.11
Gráfica *x* barra del Solver de gráficas *x* y *R* de OM Explorer para el tornillo donde se observa que la muestra cinco está fuera de control

PUNTO DE DECISIÓN

Un nuevo empleado operaba el torno que hace el tornillo el día que se tomó la muestra cinco. Para resolver el problema, la administración inició un programa de capacitación para el empleado. Las muestras posteriores revelaron que el proceso estaba otra vez bajo control estadístico.

Si se conoce la desviación estándar de la distribución del proceso, se puede utilizar otra forma de la gráfica $\bar{x}$:

$$LCS_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + z\sigma_{\bar{x}} \quad \text{y} \quad LCI_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - z\sigma_{\bar{x}}$$

donde:

$\sigma_{\bar{x}} = \sigma/\sqrt{n}$ = desviación estándar de las medias muestrales

σ = desviación estándar de la distribución del proceso

n = tamaño de la muestra

$\bar{\bar{x}}$ = línea central de la gráfica, puede ser el promedio de las medias muestrales históricas o un valor meta establecido para el proceso

z = desviación normal (número de desviaciones estándar alejado del promedio)

El analista puede utilizar una gráfica *R* para asegurar que el proceso está bajo control antes de elaborar la gráfica $\bar{x}$. La ventaja de esta forma de gráfica $\bar{x}$ es que el analista ajusta la separación de los límites de control cambiando el valor de *z*. Este enfoque suele ser útil para equilibrar el efecto de los errores tipo I y tipo II.

EJEMPLO 5.2 **Diseño de una gráfica $\bar{x}$ utilizando la desviación estándar del proceso**

El Sunny Dale Bank monitorea el tiempo requerido para servir a los clientes en la ventanilla de autobanco porque es un factor de calidad importante al competir con otros bancos de la ciudad. Después de analizar los datos reunidos en un estudio amplio de la operación de la ventanilla, la administración del banco determina que el tiempo medio requerido para procesar a un cliente en el periodo de demanda pico es 5 minutos, con una desviación estándar de 1.5 minutos. La administración desea monitorear el tiempo medio para procesar a un cliente utilizando periódicamente un tamaño de muestras de seis clientes. Suponga que la variabilidad del proceso está bajo control estadístico. Diseñe una gráfica $\bar{x}$ que tenga un error tipo I de 5%. Esto es, establezca los límites de control de manera que haya 2.5% de probabilidad de que el resultado de una muestra caiga abajo del LCI y 2.5% de probabilidad de que el resultado de la muestra caiga arriba del LCS. Después de varias semanas de muestreo, dos muestras sucesivas dan 3.70 y 3.68 minutos, respectivamente. ¿El proceso de servicio al cliente está bajo control estadístico?

SOLUCIÓN

$\bar{\bar{x}} = 50$ minutos

$\sigma = 1.5$ minutos

$n = 6$ clientes

$z = 1.96$

La variabilidad del proceso está en control estadístico, así que procedemos directamente a la gráfica $\bar{x}$. Los límites de control son:

$$LCS_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + z\sigma/\sqrt{n} = 5.0 + 1.96(1.5)/\sqrt{6} = 6.20 \text{ minutos}$$

$$LCI_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - z\sigma/\sqrt{n} = 5.0 - 1.96(1.5)/\sqrt{6} = 3.80 \text{ minutos}$$

El valor de z se puede obtener como sigue. La tabla de la distribución normal (véase el apéndice 1) da la proporción del área total bajo la curva normal de $-\infty$ a z. Queremos un error tipo I con 5%, o 2.5% de la curva arriba del LCS y 2.5% abajo del LCI. En consecuencia, necesitamos encontrar el valor de z en la tabla que deje solo 2.5% en la porción superior de la curva normal (0 0.9750 en la tabla). El valor es 1.96. Las dos muestras nuevas están abajo del LCI de la gráfica, lo que implica que el tiempo promedio para servir a un cliente ha disminuido. Las causas asignables deben explorarse para ver qué ocasionó la mejora.

PUNTO DE DECISIÓN

La administración estudió el periodo en el que se tomaron las muestras y encontró que el supervisor del proceso estaba experimentando con algunos procedimientos nuevos. La administración decidió hacer que el nuevo procedimiento fuera una parte permanente del proceso de servicio al cliente. Después de capacitar a todos los empleados en el nuevo procedimiento se tomaron nuevas muestras y se reconstruyó la gráfica de control.

Gráficas de control por atributos

Dos gráficas de uso común para medidas de desempeño basadas en la medición de atributos son la gráfica *p* y la gráfica *c*. La gráfica *p* sirve para controlar la proporción de defectos generados por el proceso. La gráfica *c* es útil para controlar el número de defectos cuando puede estar presente más de un defecto en un servicio o producto.

Gráfica *p* La **grafica *p*** es una gráfica de control que usualmente se usa para atributos. La característica de desempeño se cuenta en lugar de medirse y el servicio o artículo completo se puede declarar bueno o defectuoso. Por ejemplo, en la industria bancaria, los atributos contados pueden ser el número de depósitos no endosados o el número de estados financieros incorrectos enviados a los clientes. El método incluye seleccionar una muestra aleatoria, inspeccionar cada artículo y calcular la proporción de defectos, *p*, que es el número de unidades defectuosas dividido entre el tamaño de la muestra.

gráfica *p*
Gráfica utilizada para controlar la proporción de servicios o productos defectuosos generados por el proceso.

El muestreo para la gráfica *p* implica una decisión de "sí o no": la salida del proceso es defectuosa o no lo es. La distribución estadística subyacente se basa en la distribución binomial. Sin embargo, para tamaños de muestras grandes, la distribución normal proporciona una buena aproximación. La desviación estándar de la distribución de proporción de defectos, σ_p, es:

$$\sigma_p = \sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n}$$

donde:

n = tamaño de la muestra
$\bar{p}$ = línea central de la gráfica, que puede ser el promedio histórico de la proporción de defectos de la población o un valor meta

Se utiliza σ_p para obtener los límites de control para una gráfica *p*:

$$LCS_p = \bar{p} + z\sigma_p \quad \text{y} \quad LCI_p = \bar{p} - z\sigma_p$$

donde:

z = desviación normal (número de desviaciones estándar alejado de la media)

La gráfica se utiliza de la siguiente manera. Periódicamente, se toma una muestra aleatoria de tamaño n y se cuenta el número de servicios o productos defectuosos. El número de defectos se divide entre el tamaño de la muestra para obtener una proporción muestral de defectos, *p*, que se pone en la gráfica. Cuando una proporción de defectos cae fuera de los límites de control, el analista supone que hubo un cambio en la proporción de defectos generada por el proceso y busca la causa asignable. Las observaciones que caen abajo del LCI_p indican que tal vez el proceso mejoró. El analista puede no encontrar una causa asignable porque siempre es posible que ocurra una proporción fuera de control aleatoria. Sin embargo, si el analista descubre causas asignables, esos datos deben usarse para calcular los límites de control de la gráfica.

EJEMPLO 5.3 **Utilización de la gráfica *p* para monitorear un proceso**

El administrador de operaciones del departamento de servicios de registro del Hometown Bank está preocupado por el número de errores en los números de cuenta de clientes registrados por el personal. Cada semana se toma una muestra aleatoria de 2,500 depósitos y se registra el número de números de cuenta incorrectos. Los resultados de las últimas 12 semanas se presentan en la siguiente tabla. ¿Está fuera de control estadístico el proceso de registro? Utilice límites de control de tres sigmas que proporcionan un error tipo I de 0.26 por ciento.

Número de muestra	Números de cuenta equivocados	Número de muestra	Números de cuenta equivocados
1	15	7	24
2	12	8	7
3	19	9	10
4	2	10	17
5	19	11	15
6	4	12	3
			Total 147

SOLUCIÓN

Paso 1. Con los datos de esta muestra se calcula $\bar{p}$

$$\bar{p} = \frac{\text{defectos totales}}{\text{número total de observaciones}} = \frac{147}{12(2{,}500)} = 0.0049$$

$$\sigma_p = \sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n} = \sqrt{0.0049(1-0.0049)/2{,}500} = 0.014$$

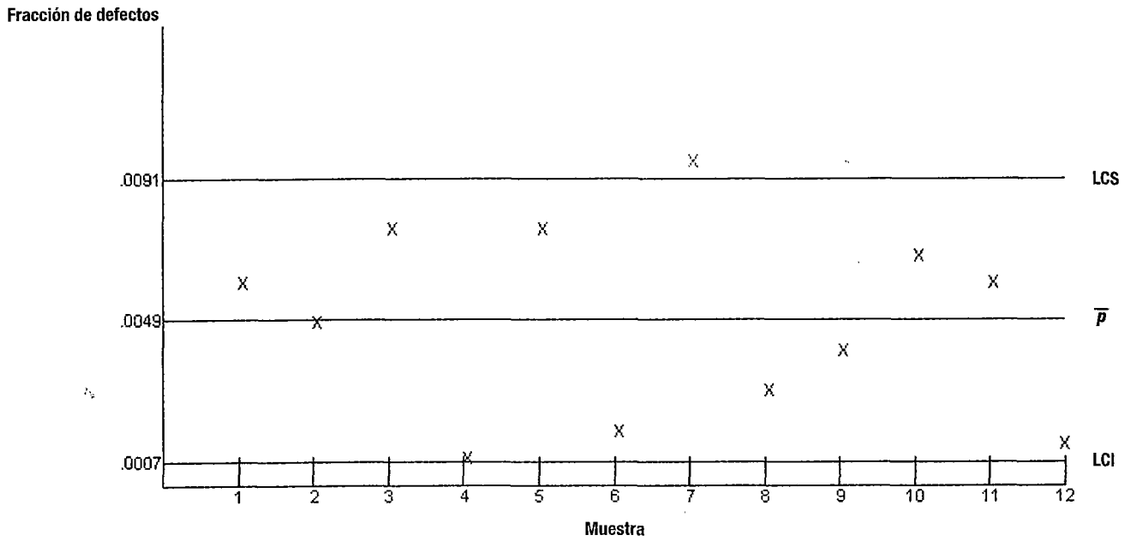
$$LCS_p = \bar{p} + z\sigma_p = 0.0049 + 3(0.0014) = 0.0091$$
$$LCI_p = \bar{p} - z\sigma_p = 0.0049 - 3(0.0014) = 0.0007$$

Paso 2. Calcule cada proporción de defectos muestral. Para la muestra uno, la proporción de defectos es 15/2,500 = 0.0060

Paso 3. Grafique cada proporción muestral en la gráfica, como se ve en la figura 5.12.

MyOMLab
El modelo activo 5.2 en MyOMLab proporciona más información de las gráficas *p* y sus aplicaciones para el departamento de servicios de registro.

MyOMLab
El tutor 5.2 en MyOMLab contiene un nuevo ejemplo para practicar la utilización de la gráfica *p*.



▲ **FIGURA 5.12**
Gráfica *p* de POM para Windows de los números de cuenta equivocados. Se observa que la muestra siete está fuera de control

La muestra siete excede el LCS; por tanto, el proceso está fuera de control y deben determinarse las razones del mal desempeño.

PUNTO DE DECISIÓN

La administración exploró las circunstancias del momento en que se tomó la muestra siete. La máquina de codificación utilizada para imprimir los números de cuenta en los cheques funcionaba mal esa semana. La siguiente semana se reparó sin embargo, durante meses antes de la falla, no se había realizado el mantenimiento preventivo recomendado para esas máquinas. La administración revisó el desempeño del departamento de mantenimiento e instituyó cambios en los procedimientos para las máquinas de codificación. Después de corregir el problema, un analista recalculó los límites de control sin la muestra siete. Se muestrearon las semanas siguientes y se determinó que el proceso de registro estaba bajo control estadístico. Como se observa, la gráfica *p* proporciona una herramienta cuando un proceso necesita ajustes.

Gráfica *c* Algunas veces, los servicios o productos tienen más de un defecto. Por ejemplo, un rollo de alfombra quizá tenga más de un defecto, como mechones o decoloración en la fibra o manchas del proceso de producción. Otras situaciones en las que puede ocurrir más de un defecto incluyen accidentes en una intersección, burbujas en el panel de la imagen de un televisor y quejas de un huésped en un hotel. Cuando la administración está interesada en reducir el número de defectos encontrados por unidad o servicio, otro tipo de gráfica de control, la ***gráfica c***, resulta útil.

gráfica *c*
Gráfica utilizada para controlar el número de defectos cuando se puede presentar más de un defecto en un servicio o producto.

La distribución de muestreo base para una gráfica *c* es la distribución Poisson, que se basa en la suposición de ocurrencia de defectos en una región continua de la superficie de un producto o durante un periodo continuo de la prestación del servicio. Se supone además que la probabilidad de dos o más defectos en cualquier lugar de la superficie o en un instante de tiempo es despreciable. La media de la distribución Poisson es $\bar{c}$ y la desviación estándar es $\sqrt{\bar{c}}$. Una táctica útil es usar la aproximación normal a la Poisson, de manera que la línea central de la gráfica es $\bar{c}$ y los límites de control son:

$$\text{LCS}_c = \bar{c} + z\sqrt{\bar{c}} \quad \text{y} \quad \text{LCI}_c = \bar{c} - z\sqrt{\bar{c}}$$

EJEMPLO 5.4 Utilización de la gráfica *c* para monitorear defectos por unidad

La compañía de papel Woodland produce papel para la industrial del periódico. Como paso final en el proceso, el papel pasa por una máquina que mide varias características de calidad del mismo. Cuando el proceso de producción del papel está bajo control, tiene un promedio de 20 defectos por rollo.

a) Establezca una gráfica de control para el número de defectos por rollo. Para este ejemplo, utilice límites de control dos sigmas.

b) Cinco rollos tienen el siguiente número de defectos: 16, 21, 17, 22 y 24, respectivamente. El sexto rollo, que contiene pulpa de otro proveedor, tiene cinco defectos. ¿Está bajo control el proceso de producción de papel?

MyOMLab
El tutor 5.3 de MyOMLab proporciona un nuevo ejemplo para practicar la aplicación de la gráfica *c*.

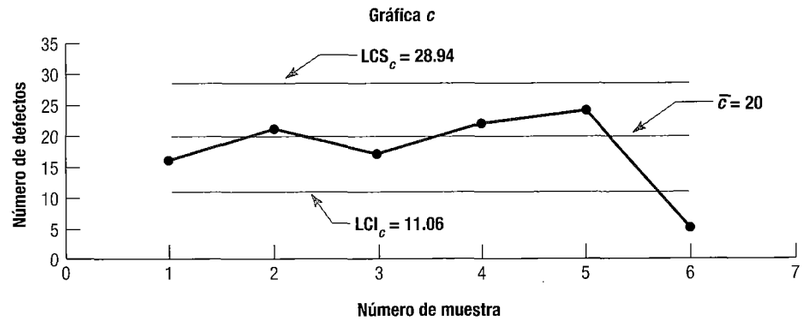
SOLUCIÓN

a) El número promedio de defectos por rollo es. Por lo tanto,

$$\text{LCS}_c = \bar{c} + z\sqrt{\bar{c}} = 20 + 2(\sqrt{20}) = 28.94$$

$$\text{LCI}_c = \bar{c} - z\sqrt{\bar{c}} = 20 - 2(\sqrt{20}) = 11.06$$

La gráfica de control se presenta en la figura 5.13.



◀ **FIGURA 5.13**
Gráfica *c* del Solver, *c-Chart* de *OM Explorer* para los defectos por rollo de papel

b) Como los primeros cinco rollos tienen defectos que están dentro de los límites de control, el proceso todavía está en control. El sexto rollo tiene cinco defectos, sin embargo está abajo del límite de control inferior y, por lo tanto, el proceso está técnicamente "fuera de control". La gráfica de control indica que algo bueno sucedió.

PUNTO DE DECISIÓN

El proveedor de las primeras cinco muestras ha surtido a Woodland muchos años. El proveedor de la sexta muestra es nuevo en la compañía. La administración decide continuar con el nuevo proveedor por un tiempo, monitoreando el número de defectos para ver si se queda bajo. Si el número permanece abajo del LCI para 20 muestras consecutivas, la administración hará el cambio permanente y recalculará los parámetros de la gráfica.

Capacidad del proceso

Las técnicas de control estadístico del proceso ayuda a los administradores a lograr y mantener una distribución del proceso que no cambia en términos de su media y su variancia. Los límites de las gráficas de control señalan cuándo cambia la media o variancia del proceso. Sin embargo, un proceso que está en control estadístico, quizá no está produciendo los servicios o productos de acuerdo con las especificaciones de diseño porque los límites de control se basan en la media y la variabilidad de la *distribución muestral,* no en las especificaciones de diseño. La **capacidad del proceso** se refiere a la habilidad del este para cumplir las especificaciones de diseño para un servicio o producto. Las especificaciones de diseño, con frecuencia, se expresan como un **valor nominal** o meta, y una **tolerancia** o valores permitidos arriba o abajo del valor nominal.

capacidad del proceso
Habilidad del proceso para cumplir las especificaciones de diseño para un servicio o producto.

valor nominal
Meta para especificaciones de diseño.

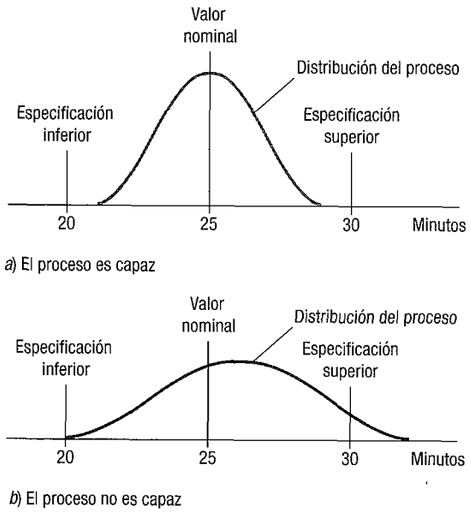
tolerancia
Valores permitidos arriba o abajo del valor nominal.

Por ejemplo, el administrador del laboratorio de una unidad de cuidado intensivo puede tener un valor nominal para el tiempo de respuesta de resultados para los médicos que atienden de 25 minutos y una tolerancia de ±5 minutos debido a la rapidez necesaria para atender condiciones que amenazan la vida. La tolerancia da una *especificación superior* de 30 minutos y una *especificación inferior* de 20 minutos. El proceso del laboratorio debe ser capaz de proporcionar los resultados de los análisis dentro de estas especificaciones; de otra manera, producirá cierta proporción de "defectos". El administrador también está interesado en detectar ocurrencias de tiempos de respuesta menores que 20 minutos porque algo puede aprenderse que tal vez redunde en un proceso de laboratorio en el futuro. Por ahora, los médicos están satisfechos al recibir los resultados entre 20 y 30 minutos.

Definición de la capacidad del proceso

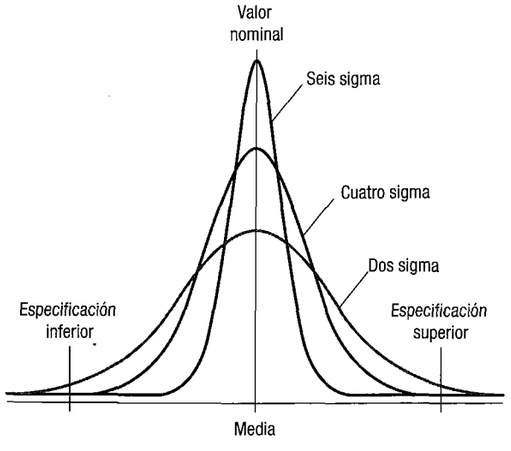
La figura 5.14 muestra la relación entre una distribución del proceso y las especificaciones superior e inferior para el tiempo de respuesta del laboratorio bajo dos condiciones. En la figura 5.14*a*), el proceso es eficiente porque los extremos de la distribución de este caen dentro de las especificaciones superior e inferior. En la figura 5.14*b*), el proceso no es eficiente porque el procedimiento de laboratorio produce demasiados reportes con tiempos muy largos.

FIGURA 5.14 ▶
Relación entre la distribución del proceso y las especificaciones superior e inferior



La figura 5.14 muestra claramente por qué los administradores se preocupan por reducir la variabilidad del proceso. Cuanta menos variabilidad —representada por menores desviaciones estándar— menor será la frecuencia de salidas defectuosas en la producción. La figura 5.15 presenta lo que implica reducir la variabilidad para una distribución del proceso que se ajusta a una distribución de probabilidad normal. La empresa con desempeño de dos sigmas (límites de especificación iguales a la media de la distribución del proceso ±2 desviaciones estándar) produce 4.56% de defectos o 45,600 defectos por millón. La empresa con desempeño de cuatro sigmas produce solo 0.0063% de defectos o 63 defectos por millón. Por último, la empresa con desempeño de seis sigmas produce solo 0.0000002% de defectos o 0.02 defectos por millón.[1]

FIGURA 5.15 ▼
Efectos de reducir la variabilidad en la capacidad del proceso



¿Cómo puede un administrador determinar cuantitativamente si un proceso es capaz? Es común en la práctica usar dos medidas para evaluar la capacidad de un proceso: el índice de capacidad del proceso y la razón de capacidad del proceso.

Índice de capacidad de un proceso El índice de capacidad del proceso, C_{pk}, se define como:

$$C_{pk} = \text{mínimo de}\left[\frac{\bar{\bar{x}} - \text{especificación inferior}}{3\sigma}, \frac{\text{especificación superior} - \bar{\bar{x}}}{3\sigma}\right]$$

donde:

σ = desviación estándar de la distribución del proceso

El índice de capacidad del proceso mide qué tan centrado está el proceso, al igual que si la variabilidad es aceptable. Como regla general, la mayor parte de los valores de cualquier distribución de proceso cae dentro de ±3 desviaciones estándar de la media. En consecuencia, se utiliza ±3 desviaciones como el punto de comparación. Como el índice de capacidad del proceso se relaciona con lo bien que la distribución del proceso se centra respecto a las especificaciones, verifica para ver si el promedio del proceso está al menos a tres desviaciones estándar de las especificaciones superior e inferior. Tomamos el mínimo de las dos razones porque da la *peor* situación.

El índice de capacidad del proceso debe compararse con un valor crítico para juzgar si un proceso es capaz. Las empresas que luchan por lograr un desempeño de tres sigmas utilizan un valor crítico de 1.0 para la razón. Una empresa con meta de desempeño de cuatro sigmas utilizará 1.33 (o 4/3), una empresa con meta de desempeño de cinco sigmas usará 1.67 (0 5/3) y una empresa con meta de desempeño de seis sigmas usará 2.00 (o 6/3). Los procesos que producen servicios o productos con desempeño menor que tres sigma tendrán valor de C_{pk} menores que 1.0.

Si un proceso pasa la prueba del índice de capacidad, el proceso se declara capaz. Suponga que una empresa desea que sus procesos produzcan al nivel de desempeño de cuatro sigma. Si C_{pk} es mayor o igual que el valor crítico de 1.33, podemos decir que el proceso es capaz. Si C_{pk} es menor que el valor crítico, puede ser porque el promedio del proceso es demasiado cercano a uno de los límites de tolerancia y genera una salida defectuosa, o bien, debido a que la variabilidad del proceso es excesivamente alta. Para encontrar si la variabilidad es la culpable, necesitamos otra prueba.

índice de capacidad del proceso, C_{pk}
Índice que mide el potencial para que el proceso genere salidas defectuosas respecto a cualquiera de las especificaciones, superior o inferior.

Razón de capacidad del proceso Si un proceso falla la prueba del índice de capacidad, necesitamos una prueba rápida para saber si la variabilidad del proceso está ocasionando el problema. Si un proceso es capaz, tiene una distribución de proceso cuyos valores extremos están dentro de la especificación superior y la inferior para un servicio o producto. Por ejemplo, si la distribución del proceso es normal, 99.74% de los valores caen dentro de ±3 desviaciones estándar. En otras palabras, el intervalo de valores de la medida de calidad generados por un proceso es aproximadamente 6 desviaciones estándar de la distribución del proceso. Así, cuando un proceso es capaz en el nivel tres sigma, la diferencia ente la especificación superior y la inferior, llamada ancho de tolerancia, debe ser mayor que 6 desviaciones estándar. La **razón de capacidad de un proceso**, Cp, está definida como:

$$C_p = \frac{\text{especificación superior} - \text{especificación inferior}}{6\sigma}$$

Suponga que la administración quiere una capacidad de cuatro-sigma en sus procesos y acaba de fallar la prueba del índice de capacidad en ese nivel. Un valor Cp de 1.33, implica que la variabilidad del proceso está en el nivel de calidad cuatro sigma y que este es capaz de tener una producción consistentemente dentro de las especificaciones, suponiendo que el proceso está centrado. Como Cp pasó la prueba, pero Cpk no lo hizo, podemos suponer que el problema es que el proceso no está centrado de forma adecuada.

razón de capacidad del proceso, C_p
Intervalo de tolerancia dividido entre seis desviaciones estándar.

Utilización de mejora continua para determinar la capacidad de un proceso

Para determinar la capacidad de un proceso para producir salidas dentro de las tolerancias, utilice los siguientes pasos.

Paso 1. Recolectar datos de la salida del proceso y calcular la media y la desviación estándar de la distribución de la salida del proceso.

Paso 2. Utilizar los datos de la distribución del proceso para calcular las gráficas del control del proceso, como las gráficas $\bar{x}$– y *R*.

Paso 3. Tomar una serie de por lo menos 20 muestras aleatorias consecutivas de tamaño *n* del proceso y graficar los resultados de las gráficas de control. Si las estadísticas de la muestra están dentro de los límites de control de las gráficas, el proceso está bajo control estadístico. Si el proceso no está bajo control estadístico, buscar causas asignables y eliminarlas. Recalcular la media y desviación estándar de la distribución del proceso y los límites de control para las gráficas. Continuar hasta que el proceso esté bajo control estadístico.

Paso 4. Calcular el *índice* de capacidad del proceso. Si los resultados son aceptables, el proceso es eficiente y se documenta cualquier cambio hecho al proceso; continuar monitoreando la salida con las gráficas de control. Si los resultados son inaceptables, calcular la *razón* de capacidad del proceso. Si los resultados son aceptables, su variabilidad está bien y la administración debe enfocarse en centrar el proceso. Si los resultados de la razón de capacidad del proceso son inaceptables, la administración debe enfocarse en reducir la variabilidad hasta que pase la prueba. Conforme se hagan cambios, recalcular la media y la desviación estándar de la distribución del proceso y los límites de control para las gráficas y regresar al paso 3.

Ingeniería de calidad

Un desempeño de calidad exitoso, con frecuencia, es más que mejora del proceso; también incluye el diseño del servicio o producto. Originado por Genichi Taguchi, la **ingeniería de calidad** es un enfoque que implica combinar los métodos de ingeniería y estadísticos para reducir costos y mejorar la calidad optimizando el diseño del producto y los procesos de fabricación. Taguchi piensa

ingeniería de calidad
Enfoque originado por Genichi Taguchi que incluye combinar métodos de ingeniería y estadística para reducir costos y mejorar la calidad optimizando el diseño del producto y los procesos de manufactura.

[1] Nuestra presentación supone que la distribución del proceso no tiene causas asignables. Sin embargo, los programas Six Sigma definen al desempeño defectuoso como la suposición de que el proceso promedio se movió 1,5 desviaciones estándar. En esos casos, habrá 3.4 defectos por millón. Vea en **www.isixsigma.com** el razonamiento detrás de esa suposición.

UTM UNIVERSIDAD THOMAS MORE SAPIENTIA ET VIRTUS BIBLIOTECA

EJEMPLO 5.5 Evaluación de la capacidad del proceso del laboratorio de la unidad de cuidados intensivos

Reuters/Corbis Wire/Corbis

Un doctor examina un espécimen en su microscopio en un laboratorio en el St. Vincnet's Hospital.

El laboratorio de la unidad de cuidados intensivos tiene un tiempo de respuesta de 26.2 minutos y una desviación estándar de 1.35 minutos. El valor nominal de este servicio es 25 minutos con un límite superior de especificación de 30 minutos y un límite inferior de especificación de 20 minutos. El administrador del laboratorio desea tener un desempeño de cuatro sigma. ¿El proceso es capaz de lograr este nivel de desempeño?

SOLUCIÓN

El administrador comienza por hacer una verificación rápida para ver si el proceso es capaz aplicando el índice de capacidad del proceso:

$$\text{Cálculo de especificación inferior} = \frac{26.2 - 20.0}{3(1.35)} = 1.53$$

$$\text{Cálculo de especificación superior} = \frac{30.0 - 26.2}{3(1.35)} = 0.94$$

$$C_{pk} = \text{mínimo de } [1.53, 0.94] = 0.94$$

Como el valor meta para un desempeño para cuatro sigmas es 1.33, el índice de capacidad del proceso le dice que el proceso no es capaz. Sin embargo, no sabe si el problema es la variabilidad del proceso, el centrado o ambos. Las opciones disponibles para mejorar el proceso dependen de lo que está mal.

Después verifica la variabilidad con la razón de capacidad del proceso:

$$C_p = \frac{30.0 - 20.0}{6(1.35)} = 1.23$$

La variabilidad del proceso no cumple con la meta de cuatro sigmas de 1.33. En consecuencia, inició un estudio para ver en dónde se introducía la variabilidad al proceso. Dos actividades, preparación de reportes y preparación de espécimen en portaobjetos se identificaron como procedimientos no uniformes. Estos procedimientos se modificaron para proporcionar un desempeño más parejo. Se recolectaron nuevos datos y la respuesta promedio ahora fue 26.1 minutos, con una desviación estándar de 1.20 minutos. Ahora tenía la variabilidad del proceso en el nivel de desempeño de cuatro sigma, como lo indica la razón de capacidad del proceso:

$$C_p = \frac{30.0 - 20.0}{6(1.20)} = 1.39$$

Sin embargo, el índice de capacidad del proceso indica problemas adicionales que debe resolver:

$$C_{pk} = \text{mínimo de } \left[\frac{(26.1 - 20.0)}{3(1.20)}, \frac{(30.0 - 26.1)}{3(1.20)} \right] = 1.08$$

PUNTO DE DECISIÓN

El proceso de laboratorio todavía no está al nivel de desempeño de cuatro sigmas en el tiempo de respuesta. El administrador del laboratorio busca causas por las que la distribución del tiempo de respuesta está descentrado. Descubre que hay retrasos periódicos en una pieza clave del equipo de pruebas. La adquisición de una nueva máquina proporcionó la habilidad para reducir los tiempos de respuesta a una competencia de cuatro sigmas.

MyOMLab

El modelo activo 5.3 en MyOMLab proporciona información adicional sobre el problema de capacidad del proceso en el laboratorio de la unidad de cuidados intensivos.

MyOMLab

El tutor 5.4 en MyOMLab proporciona un nuevo ejemplo para practicar la medición de la capacidad del proceso.

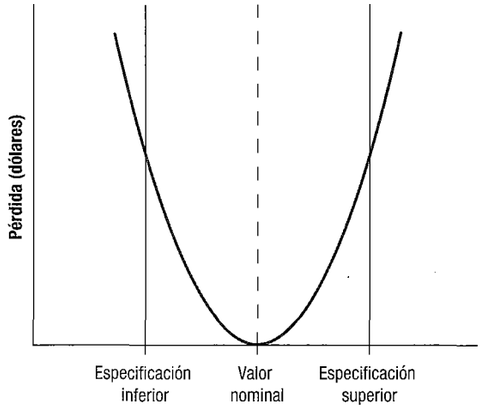
función de pérdida de calidad

Es el razonamiento de que es más probable que un servicio o producto que apenas cumple las especificaciones sea defectuoso que uno perfecto.

que los costos no bienvenidos están asociados con *cualquier* desviación de un valor meta de la característica de calidad. El punto de vista de Taguchi es que la **función de pérdida de la calidad** es cero cuando la característica de calidad del servicio o producto es justo igual al valor meta y que la función de pérdida de la calidad crece en forma exponencial cuando la característica de calidad se acerca a los límites de especificación. El razonamiento es que es más probable que un servicio o producto que apenas cumple las especificaciones sea defectuoso que un servicio o producto perfecto. La figura 5.16 muestra la función de pérdida de la calidad de Taguchi de manera esquemática. Taguchi concluyó que los administradores deben buscar continuamente maneras de reducir toda la variabilidad respecto al valor meta en el proceso de producción y no contentarse con solo adherirse a los límites de las especificaciones. Vea en **http://elsmar.com/Taguchi.html** una presentación detallada y animación de la función de pérdida de la calidad.

Estándares internacionales de documentación de la calidad

Una vez que una compañía ha hecho el esfuerzo de tener procesos capaces, debe documentar su nivel de calidad para vender mejor sus servicios y productos. Esta documentación de calidad es en especial importante en el comercio internacional. Sin embargo, si cada país tuviera sus propios estándares, las compañías que venden en mercados internacionales tendrían dificultad para cumplir los estándares de la documentación de la calidad en cada país con el que hiciera negocios. Para vencer este problema, la Organización Internacional para la Estandarización ideó una familia de estándares llamada ISO 9000 para compañías que tenían negocios con la Unión Europea. Después, se desarrolló ISO 14000 para el entorno de sistemas administrativos e ISO 26000 para tener una guía sobre la responsabilidad social.



▲ **FIGURA 5.16**
Función de pérdida de la calidad de Taguchi

Estándares de documentación ISO 9001:2008

ISO 9001:2008 es la última actualización de los estándares ISO 9000 que rigen la documentación de un programa de calidad. De acuerdo con la Organización Internacional para la Estandarización, los estándares ISO 9001:2008 abordan la *administración de la calidad* especificando lo que la empresa hace para satisfacer los requerimientos de calidad de los clientes y los requerimientos regulatorios aplicables, al tiempo que intentan mejorar la satisfacción del cliente y lograr mejoras continuas de su desempeño en la búsqueda de estos objetivos. Las compañías se certifican probando a un examinador externo calificado que cumple con todos los requisitos. Una vez certificadas, las compañías ingresan a un directorio para que los clientes potenciales puedan ver qué compañías están certificadas y en qué nivel. El cumplimiento de los estándares ISO 9001:2008 no dice *nada* acerca de la calidad real de un producto. Más bien, indica a los clientes que las compañías pueden presentar documentación para apoyar cualquier cosa que aseguren respecto a la calidad. Desde 2009, más de 1 millón de organizaciones en todo el mundo se ha certificado en los estándares de documentación de la familia ISO 9000.

ISO 9001:2008

Conjunto de estándares que rigen la documentación de un programa de calidad.

Sistema de administración ambiental ISO 14000:2004

Los estándares **ISO 14000:2004** requieren documentación del programa ambiental de una empresa. De acuerdo con la Organización Internacional para la Estandarización, la familia ISO 14000:2004 aborda la *administración ambiental* especificando lo que hace la empresa para minimizar los efectos dañinos sobre el ambiente, ocasionados por sus actividades y para lograr la mejora continua en su desempeño ambiental. Los estándares de documentación requieren que las compañías participantes mantengan un registro del uso de materias primas, así como la generación, tratamiento y eliminación de desechos peligrosos. Aunque no especifica los desechos que cada compañía puede emitir, los estándares requieren que prepare un plan para la mejora continua de su desempeño ambiental. ISO 14000:2004 cubre varias áreas que incluyen las siguientes:

- *Sistemas de administración ambiental.* Requiere un plan para mejorar el desempeño en el uso de recursos y la salida contaminante.
- *Evaluación del desempeño ambiental.* Especifica las guías para la certificación de las compañías.
- *Etiquetado ambiental.* Define términos como reciclable, eficiente en energía y seguro para la capa de ozono.
- *Evaluación del ciclo de vida.* Evalúa el impacto ambiental durante la vida útil de un producto desde su manufactura, uso y eliminación de desechos.

Para mantener la certificación, las compañías deben ser inspeccionadas por auditores externos privados periódicamente. Desde 2010, más de 200,000 organizaciones en 155 países se han certificado en ISO 14000.

ISO 14000:2004

Estándares de documentación que requiere que las compañías participantes mantengan un registro del uso de materias primas y su generación, tratamiento y eliminación de desechos peligrosos.

ISO 26000:2010 Guía de la responsabilidad social

Los lineamientos **ISO 26000:2010**, de acuerdo con la Organización Internacional para la Estandarización, proporcionan una guía armónica, globalmente relevante sobre la responsabilidad social de las organizaciones privadas y públicas, basada en el consenso internacional entre expertos. Una empresa no se certifica en ISO 26000; los lineamientos son voluntarios e intentan promover la mejor práctica en el comportamiento ético de los negocios. Los siete temas centrales de responsabilidad social cubiertos en las guías son **1.** derechos humanos, **2.** prácticas de trabajo, **3.** el medio ambiente, **4.** prácticas de operación justas, **5.** aspectos del consumidor, **6.** participación y desarrollo comunitario y **7.** la organización. De esta manera, la comunidad internacional promueve un comportamiento de negocios ético entre negocios y consumidores.

ISO 26000:2010

Guías internacionales para la responsabilidad social de la organización.

Beneficios de la certificación ISO

Completar el proceso de certificación puede tomar tanto como 18 meses y requerir muchas horas del tiempo de administradores y empleados. El costo de la certificación llega a superar $1 millón para compañías grandes. A pesar del gasto y el compromiso que implica la certificación ISO, otorga beneficios externos e internos significativos. Los beneficios externos vienen de la ventaja de ventas potenciales que tienen las compañías que cumplen. Es más probable que las compañías que buscan proveedores seleccionen uno que ha demostrado conformidad con los estándares de documentación de ISO, cuando todos los otros factores son iguales. En consecuencia, cada vez más compañías buscan la certificación para ganar una ventaja competitiva.

Los beneficios internos pueden ser sustanciales. Las compañías registradas reportan un promedio de 48% de incremento en su rentabilidad y 76% de mejora en marketing. El Instituto de Estándares Británico, un auditor líder, estima que la mayoría de las compañías certificadas en ISO 9000 experimentan 10% de reducción en el costo de producción de un artículo debido a las mejoras en la calidad realizadas mientras se esfuerzan por cumplir los requerimientos de documentación. La certificación ISO 9001:2008 requiere que una compañía analice y documente sus procedimientos, lo cual es necesario de cualquier manera para implantar la mejora continua, la participación de los empleados y programas similares. Los lineamientos y requerimientos de los estándares de documentación de ISO proporcionan a las compañías un buen comienzo en la búsqueda de programas de TQM.

Programa Baldrige de excelencia en el desempeño

programa Baldrige de excelencia en el desempeño

Programa nombrado en honor al finado secretario de comercio, Malcolm Baldrige, que era un fuerte proponente de mejorar la calidad como medio para reducir el déficit comercial; las organizaciones compiten por un premio que promueve, reconoce y publica estrategias y logros en la calidad.

Sin importar en dónde hagan negocio las compañías, es claro que todas las organizaciones tienen que fabricar productos y servicios de alta calidad si quieren ser competitivas. Para hacer hincapié en este punto, en agosto de 1987, el congreso de Estados Unidos firmó la Ley de mejoramiento de la calidad nacional Malcolm Baldrige y creó el premio Malcolm Baldrige National Quality Award, que ahora se titula **Programa Baldrige de excelencia en el desempeño (www.quality.nist.gov)**. Lleva este nombre en honor del finado secretario de comercio, que era un fuerte proponente del mejoramiento de la calidad como medio para reducir el déficit comercial; el premio promueve, reconoce y publica las estrategias y logros de la calidad.

El proceso de solicitud y revisión para el premio Baldrige es riguroso. No obstante, el hecho de preparar la solicitud en sí, a menudo es un beneficio importante para las organizaciones porque las ayuda a definir qué significa *calidad* para ellas. Según el National Institute of Standards and Technology (NIST) del Departamento de Comercio de Estados Unidos, invertir en los principios de la calidad y la excelencia en el desempeño redunda en un incremento en la productividad, empleados y clientes satisfechos y mayor rentabilidad, tanto para clientes como inversionistas. Los siete criterios principales para el premio son los siguientes:

1. *Liderazgo.* Describe cómo las acciones de los líderes de la alta administración guían y sostienen a la organización y cómo se comunican con la fuerza de trabajo y fomentan un alto desempeño.
2. *Planeación estratégica.* Describe cómo la organización establece su estrategia para abordar los retos estratégicos, apalancar sus ventajas estratégicas y resumir sus objetivos estratégicos clave y sus metas relacionadas.
3. *Enfoque en el cliente.* Describe la manera en que la organización determina su oferta de servicios o productos y el mecanismo para apoyar su utilización por parte del cliente.
4. *Medición, análisis y administración del conocimiento.* Describe la forma en que la organización mide, analiza, revisa y mejora su desempeño mediante el uso de datos e información en todos los niveles de la organización.
5. *Enfoque en la fuerza de trabajo.* Describe cómo la organización se compromete, compensa y premia a sus trabajadores en todos los niveles de la organización.
6. *Enfoque en las operaciones.* Describe cómo la organización diseña su sistema de trabajo y determina los procesos clave para entregar valor al cliente, prepararse para emergencias potenciales y lograr el éxito y la sustentabilidad organizacional.
7. *Resultados.* Describe el desempeño y mejoramiento de la organización en cinco categorías: productos y procesos, enfoque en el cliente, enfoque en la fuerza de trabajo, liderazgo y gobernanza, y finanzas y mercado.

La satisfacción del cliente respalda estos siete criterios. El criterio 7, resultados, tiene el mayor peso al seleccionar ganadores.

REPASO DE LAS METAS DE APRENDIZAJE

1. **Definir los cuatro costos principales de la calidad.** Vea la sección "Costos de la calidad", p. 159.
2. **Describir el papel de la ética en la calidad de servicios y productos.** Se explica cómo las prácticas de negocios engañosas pueden afectar la experiencia del cliente y por qué los costos de la calidad deben equilibrarse con las consideraciones éticas en la sección "Etica y calidad", pp. 159-160.
3. **Explicar los principios básicos de los programas TQM.** Vea la sección "Administración de la calidad total", pp. 160-164. Centre la atención en las cinco definiciones de la calidad dadas por los clientes y la práctica administrativa 5.1, que muestra cómo una compañía da la correspondencia entre procesos y las cinco definiciones, la importancia de la participación del empelado y cómo funciona la mejora continua. La figuras 5.1 y 5.2 son clave.
4. **Explicar los principios básicos de los programas Six Sigma.** Se resumió la esencia de estos importantes programas en la sección "Six Sigma", pp. 164-165. Debe estar seguro de que comprende la figura 5.3, que muestra las metas de Six Sigma, y la figura 5.4, que proporciona el modelo de mejoramiento. La figura 5.5 presenta cómo funcionan *TQM* y *Six Sigma* en una cadena de suministro mediante la táctica de muestreo de aceptación.
5. **Describir cómo construir gráficas de control y utilizarlas para determinar si un proceso está fuera de control estadístico.** Vea la sección "Control estadístico de procesos", pp. 166-170. La comprensión de las figuras 5.6 y 5.7 es clave para entender los métodos que siguen. La sección "Métodos de control estadístico de procesos", pp. 170-177, muestra cómo determinar si un proceso está bajo control estadístico. Estudie los ejemplos 5.1 a 5.5 al igual que los problemas uno a tres.
6. **Describir cómo determinar si un proceso es capaz de producir un servicio o producto según especificaciones.** El mayor aprendizaje de este capítulo se encuentra en la sección "Capacidad del proceso", pp. 177-180. Debe asegurarse de comprender las figuras 5.4 y 5.5; estudie el ejemplo 5.5 y el problema resuelto 4.

MyOMLab ayuda y evalúa a los estudiantes con 16 problemas de gráficas *x* barra y *R*, gráficas *p*, gráficas *c* y capacidad del proceso.

Recursos de MyOMLab	Títulos	Vínculos con el libro
Video	*Starwood: desempeño y calidad del proceso* *Christchurch Parkroyal* *TQM*	Costos de la calidad, administración de la calidad total, Six Sigma Costos de la calidad, administración de la calidad total
Modelo activo	5.1 Gráficas *x* barra y *R* 5.2 Gráficas *p* 5.3 Capacidad del proceso	Gráficas de control por variables; ejemplo 5.1 (pp. 172-173) Gráficas de control por atributos; ejemplo 5.3 (pp. 175-176) Capacidad del proceso; ejemplo 5.5 (p. 180)
Solvers de OM Explorer	Gráficas *c* Gráficas *p* Capacidad del proceso Gráficas *R* y *x* barra	Gráficas de control por atributos; ejemplo 5.4 (p. 177); figura 5.13 (p. 177); problema resuelto 3 (p. 187) Gráficas de control por atributos; ejemplo 5.3 (pp. 175-176) problema resuelto 2 (pp. 186-187) Capacidad del proceso; ejemplo 5.5 (p. 180); problema resuelto 4 (p. 188) Gráficas de control por variables; ejemplo 5.1 (p. 172); figuras 5.10 y 5.11 (pp. 172-173); problema resuelto 1 (pp. 185-186)
Tutores de OM Explorer	5.1 Gráficas *R* y *x* barra 5.2 Gráficas *p* 5.3 Gráficas *c* 5.4 Capacidad del proceso	Gráficas de control por variables; ejemplo 5.1 (pp. 172-173) Gráficas de control por atributos; ejemplo 5.3 (pp. 175-176) Gráficas de control por atributos; ejemplo 5.4 (p. 177) Capacidad del proceso; ejemplo 5.5 (p. 180)
POM para Windows	Gráficas *p* Gráficas *x* barra Capacidad del proceso Muestreo de aceptación	Gráficas de control por atributos; ejemplo 5.3 (pp. 175-176); figura 5.12 (p. 176); problema resuelto 2 (pp. 186-187) Gráficas de control por variables; ejemplo 5.1 (pp. 172-173); ejemplo 5.2 (p. 174); problema resuelto 1 (pp. 185-186) Gráficas de control por atributos; ejemplo 5.4 (p. 177); problema resuelto 3 (p. 187) Capacidad del proceso; ejemplo 5.5 (p. 180); problema resuelto 4 (p. 188) Muestreo de aceptación
Ejercicio de simulación, SimQuick	Proceso de tarjetas de circuitos	Modelo de mejoramiento Six Sigma

Recursos de MyOMLab	Títulos	Vínculos con el libro
Ejercicios de tutor	5.1 Gráficas *x* barra y *R* con peso meta de 7.04 onzas	Gráficas de control por variables
	5.2 Gráficas *p* cuando cambian los valores muestrales	Gráficas de control por atributos
	5.3 Capacidad del proceso con un cambio en el promedio y la variabilidad del proceso	Capacidad del proceso
Tours virtuales	1. Fábrica Steinway, Flautas Verne O. Powell	Administración total de la calidad; Six Sigma
	2. Beach Beat Surfboards	Administración total de la calidad
Suplementos de MyOMLab	G. Planes de muestreo de aceptación	Muestreo de aceptación
Ejercicios en Internet	1. National Institute of Standards and Technology e International Organization for Standardization	Baldrige Performance Excellence Award International Quality Documentation Standards
	2. SAS Scandinavian Airline	Administración total de la calidad
	3. Jack in the Box	Satisfacción del cliente
	4. Maybach	Satisfacción del cliente
	5. Bureau of Transportation Statistics	Control estadístico de procesos
Ecuaciones clave		
Biblioteca de imágenes		

Ecuaciones clave

1. Media muestral: $\bar{x} = \dfrac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$

2. Desviación estándar de la muestra;

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \qquad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} x^2 - \frac{\left(\sum x_i\right)^2}{n}}{n-1}}$$

3. Límites de control para gráficas de control de procesos por variables

   a) Gráfica *R*, rango de la muestra

   Límite de control superior = $\text{LCS}_R = D_4\bar{R}$

   Límite de control inferior = $\text{LCI}_R = D_3\bar{R}$

   b) Gráficas $\bar{x}$, media de la muestra:

   Límite de control superior = $\text{LCS}_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R}$

   Límite de control inferior = $\text{LCI}_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R}$

   c) Cuando la desviación estándar de la distribución del proceso, σ, se conoce:

   Límite de control superior = $\text{LCS}_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + z\sigma_{\bar{x}}$

   Límite de control inferior = $\text{LCI}_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - z\sigma_{\bar{x}}$

   donde:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

4. Límites de control para gráficas de control de procesos por atributos

   a) Gráfica *p*, proporción de defectos:

   Límite de control superior = $\text{LCS}_p = \bar{p} + z\sigma_p$

   Límite de control inferior = $\text{LCI}_p = \bar{p} - z\sigma_p$

   donde:

$$\sigma_{\bar{p}} = \sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n}$$

   b) Gráfica *c*, número de defectos:

   Límite de control superior = $\text{LCS}_c = \bar{c} + z\sqrt{\bar{c}}$

   Límite de control inferior = $\text{LCI}_c = \bar{c} - z\sqrt{\bar{c}}$

5. Índice de capacidad del proceso:

$$C_{pk} = \text{mínimo de}\left[\frac{\bar{\bar{x}} - \text{especificación inferior}}{3\sigma}, \frac{\text{especificación superior} - \bar{\bar{x}}}{3\sigma}\right]$$

6. Razón de capacidad del proceso:

$$C_p = \frac{\text{especificación superior} - \text{especificación inferior}}{6\sigma}$$

Términos clave

administración de la calidad total (TQM) 160
atributos 167
calidad 160
calidad en la fuente 162
capacidad del proceso 177
causas asignables de variación 168
causas comunes de variación 168
ciclo planear-hacer-estudiar-actuar 164
cinta negra 165
cinta verde 165
círculos de calidad 163
control estadístico de procesos (CEP) 166
costos de evaluación 159
costos de fallas externas 159
costos de fallas internas 159
costos de prevención 159
defecto 159
empoderamiento de empleados 163
equipo autoadministrado 163
equipos 162
equipos de propósito especial 163
error tipo I 170
error tipo II 170
función de pérdida de calidad 179
garantía 159
gráfica *c* 176
gráfica $\bar{x}$ 171
gráfica de control 169
gráfica *p* 174
gráfica *R* 170
índice de capacidad del proceso, C_{pk} 179
ingeniería de calidad 179
ISO 9001:2008 181
ISO 14000:2004 181
ISO 26000:2010 181
maestro cinta negra 165
mejora continua 163
muestreo de aceptación 166
nivel de calidad aceptable (AQL) 166
plan de muestreo 167
Programa Baldrige de excelencia en el desempeño 182
razón de capacidad del proceso, C_p 179
Six Sigma 164
tamaño de muestra 167
tolerancia 177
valor nominal 177
variables 167

Problema resuelto 1

La compañía Watson Electric produce focos incandescentes. Los siguientes datos sobre el número de lúmenes para focos de 40 watts se recolectaron cuando el proceso estaba bajo control.

	OBSERVACIÓN			
Muestra	**1**	**2**	**3**	**4**
1	604	612	588	600
2	597	601	607	603
3	581	570	585	592
4	620	605	595	588
5	590	614	608	604

a) Calcule los límites de control para las gráfica *R* y la gráfica $\bar{x}$.

b) Desde que se recolectaron los datos, se contrató a algunos empleados nuevos. Se obtuvo una muestra como sigue: 570, 603, 623 y 583. ¿Todavía está el proceso bajo control?

SOLUCIÓN

a) Para calcular $\bar{x}$, calcule la media de cada muestra. Para calcular R, reste el valor menor en la muestra del valor más alto. Por ejemplo, para la muestra 1,

$$\bar{x} = \frac{604 + 612 + 588 + 600}{4} = 601$$

$$R = 612 - 588 = 24$$

Muestra	$\bar{x}$	R
1	601	24
2	602	10
3	582	22
4	602	32
5	604	24
Total	2,991	112
Promedio	$\bar{\bar{X}} = 598.2$	$\bar{R} = 22.4$

Los límites de control de la gráfica R son

$$\text{LCS}_R = D_4\bar{R} = 2.282(22.4) = 51.12$$

$$\text{LCI}_R = D_3\bar{R} = 0(22.4) = 0$$

Los límites de control para la gráfica $\bar{x}$ son

$$\text{LCS}_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R} = 598.2 + 0.729(22.4) = 614.53$$

$$\text{LCI}_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R} = 598.2 - 0.729(22.4) = 581.87$$

b) Primero verifique si la variabilidad todavía está bajo control con los nuevos datos. El rango es 53 (o 623 – 570), que está afuera del LCS para la gráfica R. Como la variabilidad del proceso está fuera de control, no tiene sentido probar el promedio del proceso con la estimación actual para $\bar{R}$. Debe realizarse una búsqueda de causas asignables que inducen la variabilidad excesiva.

Problema resuelto 2

El departamento de procesamiento de datos del Arizona Bank tiene cinco empleados que capturan datos. Cada día hábil, el supervisor verifica la exactitud de una muestra aleatoria de 250 registros. Un registro que contiene uno o más errores, se considera defectuoso y debe hacerse de nuevo. Los resultados de 30 muestras se muestran en la tabla. Todos se verificaron para asegurar que ninguno estaba fuera de control.

Muestra	Número de registros defectuosos	Muestra	Número de registros defectuosos	Muestra	Número de registros defectuosos	Muestra	Número de registros defectuosos
1	7	9	6	17	12	24	7
2	5	10	13	18	4	25	13
3	19	11	18	19	6	26	10
4.	10	12	5	20	11	27	14
5	11	13	16	21	17	28	6
6	8	14	4	22	12	29	11
7	12	15	11	23	6	30	9
8	9	16	8				
						Total	300

a) Con base en estos datos históricos, establezca una gráfica p usando $z = 3$.

b) Las muestras para los siguientes cuatro días presentan lo siguiente:

Muestra	Número de registros defectuosos
Martes	17
Miércoles	15
Jueves	22
Viernes	21

¿Cuál es probable que sea la evaluación del supervisor del proceso de captura de datos?

SOLUCIÓN

a) De la tabla, el supervisor sabe que el número total de registros defectuosos es 300 de la muestra total de 7,500 [o 30(250)]. Por lo tanto, la línea central de la gráfica es:

$$\bar{p} = \frac{300}{7{,}500} = 0.04$$

Los límites de control son:

$$\text{LCS}_p = \bar{p} + z\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} = 0.04 + 3\sqrt{\frac{0.04(0.96)}{250}} = 0.077$$

$$\text{LCI}_p = \bar{p} - z\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} = 0.04 - 3\sqrt{\frac{0.04(0.96)}{250}} = 0.003$$

b) Las muestras para los siguientes 4 días son:

Muestra	Número de registros defectuosos	Proporción
Martes	17	0.068
Miércoles	15	0.060
Jueves	22	0.088
Viernes	21	0.084

Las muestras para el jueves y el viernes están fuera de control. El supervisor debe buscar el problema y, al identificarlo, tomar la acción correctiva.

Problema resuelto 3

El Departamento de Seguridad de Carreteras de Minnow County monitorea los accidentes en la intersección de las rutas 123 y 14. Los accidentes en la intersección tienen un promedio de tres por mes.

a) ¿Qué tipo de gráfica de control debe utilizarse? Construya una gráfica de control con límites de control de tres sigmas.

b) El mes pasado ocurrieron siete accidentes en la intersección. ¿Es suficiente evidencia para justificar la afirmación de que algo ha cambiado en la intersección?

SOLUCIÓN

a) El departamento de seguridad no puede determinar el número de accidentes que *no ocurrieron,* por lo que no tiene forma de calcular una proporción de defectos en la intersección. Entonces, la administración debe utilizar una gráfica c, para la cual

$$\text{LCS}_c = \bar{c} + z\sqrt{\bar{c}} = 3 + 3\sqrt{3} = 8.20$$

$$\text{LCI}_c = \bar{c} - z\sqrt{\bar{c}} = 3 - 3\sqrt{3} = -2.196\text{, ajustado a } 0$$

No puede haber un número negativo de accidentes, por lo que el LCI se ajusta a cero,

b) El número de accidentes el mes pasado cae dentro del LCS y el LCI de la gráfica. Se concluye que no están presentes causas asignables y que el incremento en accidentes fue aleatorio.

Problema resuelto 4

Pioneer Cicken anuncia pollo "lite" con 30% menos calorías. (Las piezas son 33% más pequeñas). El promedio de la distribución del proceso para las pechugas de pollo "lite" es 420 calorías, con una desviación estándar de la población de 25 calorías. Pioneer toma muestras aleatorias de seis pechugas para medir el contenido calórico.

a) Diseñe una gráfica $\bar{x}$ con la desviación estándar del proceso. Utilice límites de tres sigmas.

b) El diseño del producto determina que la pechuga promedio contiene 400 ± 100 calorías. Calcule índice de capacidad del proceso (meta = 1.33) y la razón de capacidad del proceso. Interprete los resultados.

SOLUCIÓN

a) Para la desviación estándar del proceso de 25 calorías, la desviación estándar de la media muestral es

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{25}{\sqrt{6}} = 10.2 \text{ calorías}$$

$$LCS_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + z\sigma_{\bar{x}} = 420 + 3(10.2) = 450.6 \text{ calorías}$$

$$LCI_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - z\sigma_{\bar{x}} = 420 - 3(10.2) = 389.4 \text{ calorías}$$

b) El índice de capacidad del proceso es

$$C_{pk} = \text{mínimo de}\left[\frac{\bar{\bar{x}} - \text{especificación inferior}}{3\sigma}, \frac{\text{especificación superior} - \bar{\bar{x}}}{3\sigma}\right]$$

$$= \text{mínimo de}\left[\frac{420 - 300}{3(25)} = 1.60, \frac{500 - 420}{3(25)} = 1.07\right] = 1.07$$

La razón de capacidad del proceso es

$$C_p = \frac{\text{especificación superior} - \text{especificación inferior}}{6\sigma} = \frac{500 \text{ calorías} - 300 \text{ calorías}}{6(25)} = 1.33$$

Dado que la razón de capacidad del proceso es 1.33, el proceso debe poder producir la confiabilidad del producto dentro de las especificaciones. Sin embargo, el índice de capacidad del proceso es 1.07, por lo que el proceso actual no está centrado apropiadamente para un desempeño de cuatro sigmas. La media de la distribución del proceso está demasiado cerca de la especificación superior.

Preguntas para análisis

1. Considere la práctica administrativa 5.1 y la discusión del enfoque de Steinway para lograr calidad superior. Para tener una mejor idea del proceso de producción orientado a la artesanía, visite **www.steinway.com/factory/tour.shtml.** Sin embargo, Steinway también utiliza automatización para producir los mecanismos de acción, un ensamble crítico de los pianos de cola. Dada la imagen global de un piano Steinway, un objeto bello hecho a mano y muy costoso, ¿qué piensa del equipo automatizado? ¿Cree que es un error usar la automatización de esta manera?
2. Recientemente, Polish General Corporation, conocida por su fabricación de electrodomésticos y autopartes, inició un proyecto de $13 mil millones para producir automóviles. Se requirió mucho aprendizaje por parte de la administración y los empleados. Aun cuando la presión subía para tener un nuevo producto en el mercado a principios de 2012, el gerente de producción de la nueva división de autos insistió en casi un año de corridas de prueba antes de iniciar las ventas porque los trabajadores tenían que hacer su trabajo de 60 a 100 veces para memorizar la secuencia correcta. El día del lanzamiento se estableció para principios de 2013. ¿Cuáles son las consecuencias de utilizar este enfoque para entrar al mercado con un nuevo producto?
3. Explique cómo las prácticas de negocios no éticas degradan la calidad de la experiencia que tiene un cliente con el servicio o producto. ¿Qué hace la Organización Internacional para la Estandarización para tratar de fomentar el comportamiento ético en los negocios?

Problemas

El OM Explorer y POM para Windows están disponibles para todos los estudiantes de la décima edición de este libro. Vaya a **www.pearsonhighered.com/krajewski** para bajar estos paquetes de computadora. Si compró MyOMLab, también tiene acceso al software de modelos activos y mucha ayuda para resolver los problemas siguientes. Verifique con su instructor la mejor manera de usar estos recursos. En muchos casos, el instructor le pedirá que comprenda cómo se hacen los cálculos a mano. Por lo menos, el software proporciona una verificación de sus cálculos. Cuando los cálculos son muy complejos y la meta es interpretar los resultados al tomar una decisión, el software sustituye por completo los cálculos manuales. El software también puede ser un recurso valioso en el futuro después del curso.

1. En Quickie Car Wash, se anuncia que el proceso de lavado toma menos de siete minutos. En consecuencia, la administración ha fijado un promedio meta de 390 segundos para ese proceso. Suponga que el rango promedio para una muestra de nueve vehículos es 10 segundos. Utilice la tabla 5.1 para establecer los límites de control de las medias y los rangos muestrales en el proceso de lavado de automóviles.
2. En Isogen Phamaceuticals, el proceso de llenado de sus inhaladores para asma está establecido para que entregue 150 mililitros (ml) de solución de esteroide por contenedor. El rango promedio de una muestra de cuatro contenedores es 3 ml. Utilice la tabla 5.1 para establecer límites de control para las medias y rangos muestrales para el proceso de llenado.
3. Garcia's Garage desea crear algunos carteles coloridos y gráficas para ilustrar la confiabilidad de sus mecánicos tipo "métete debajo del auto y arregla el problema". El promedio histórico para la proporción de clientes que regresa para la misma reparación dentro del periodo de 30 días de garantía es 0.10. Cada mes, García da seguimiento a 100 clientes para ver si regresan por reparaciones de garantía. Grafica los resultados como una proporción para reportar el avance hacia la meta. Si los límites de control deben establecerse a dos desviaciones estándar para cualquier lado de la meta, determine los límites de control para esta gráfica. En marzo, ocho de los 100 clientes en la muestra regresaron por reparaciones garantizadas. ¿Está bajo control el proceso de reparación?
4. Canine Gourmet Company produce deliciosos bocadillos para perros con paladares refinados. La administración quiere que la línea de llenado de cajas se fije de manera que el peso promedio del proceso por paquete sea 45 gramos. Para asegurar que el proceso está bajo control, un inspector al final de la línea de llenado periódicamente selecciona al azar una caja de diez paquetes y pesa cada uno. Cuando el proceso está bajo control, el rango en el peso de cada muestra ha promediado seis gramos.
   a) Diseñe una gráfica R y una gráfica $\bar{x}$ para este proceso.
   b) Los resultados de al menos cinco muestras de 10 paquetes son:

Muestra	$\bar{x}$	R
1	44	9
2	40	2
3	46	5
4	39	8
5	48	3

¿Está el proceso bajo control? Explique.

5. Aspen Plastics produce botellas según las órdenes de los clientes. El inspector de calidad selecciona de manera aleatoria cuatro botellas de la máquina y mide el diámetro exterior del cuello de la botella, una dimensión de calidad crucial que determina si la tapa se ajustará bien. Las dimensiones (en pulgadas) de las últimas seis muestras son:

	BOTELLA			
Muestra	**1**	**2**	**3**	**4**
1	0.594	0.622	0.598	0.590
2	0.587	0.611	0.597	0.613
3	0.571	0.580	0.595	0.602
4	0.610	0.615	0.585	0.578
5	0.580	0.624	0.618	0.614
6	0.585	0.593	0.607	0.569

   a) Suponga que solo seis de estas muestras son suficientes y utilice los datos para determinar los límites de control para una gráfica R y una $\bar{x}$.
   b) Suponga que la especificación para el diámetro del cuello de la botella es 0.600 ± 0.050 y la desviación estándar es 0.013 pulgadas. ¿Cuál es el índice de capacidad del proceso? ¿Y la razón de capacidad del proceso?
   c) Si la empresa busca un desempeño de tres sigmas, ¿es capaz el proceso de producir la botella?
6. En un intento por juzgar y monitorear la calidad del instructor, la administración de Mega-Byte Academy diseñó un examen para sondear a los alumnos en conceptos básicos que todos deben haber aprendido. Cada año selecciona una muestra aleatoria de 10 alumnos que se gradúan para el examen. La calificación promedio se usa para rastrear la calidad del proceso educativo. Los resultados de los exámenes para los últimos 10 años se muestran en la tabla 5.2.

   Utilice estos datos para estimar el centro y la desviación estándar para esta distribución. Luego, calcule los límites de control de dos sigmas para el promedio del proceso. ¿Qué comentarios haría a la administración de Mega-Byte Academy?
7. Como administrador de un hospital, usted está preocupado por el ausentismo de los asistentes de enfermería. Las enfermeras registradas han reportado este aspecto, pues sienten que con frecuencia tienen que realizar el trabajo que hacen sus ayudantes. Para obtener pruebas, reúne datos de ausentismo de las últimas tres semanas, que se considera un periodo representativo para las condiciones futuras. Después de tomar muestras aleatorias de 64 expedientes del personal cada día, los siguientes son los datos recolectados:

TABLA 5.2 | CALIFICACIONES EN EL EXAMEN DE SALIDA

	ESTUDIANTE										
Año	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**Promedio**
1	63	57	92	87	70	61	75	58	63	71	69.7
2	90	77	59	88	48	83	63	94	72	70	74.4
3	67	81	93	55	71	71	86	98	60	90	77.2
4	62	67	78	61	89	93	71	59	93	84	75.7
5	85	88	77	69	58	90	97	72	64	60	76.0
6	60	57	79	83	64	94	86	64	92	74	75.3
7	94	85	56	77	89	72	71	61	92	97	79.4
8	97	86	83	88	65	87	76	84	81	71	81.8
9	94	90	76	88	65	93	86	87	94	63	83.6
10	88	91	71	89	97	79	93	87	69	85	84.9

Día	Ayudantes ausentes	Día	Ayudantes ausentes
1	4	9	7
2	3	10	2
3	2	11	3
4	4	12	2
5	2	13	1
6	5	14	3
7	3	15	4
8	4		

Como es probable que su evaluación del ausentismo quede sujeta a un escrutinio cuidadoso, le gustaría que el error tipo I fuera de solo 1%. Desea estar seguro de identificar cualquier instancia de ausencias inusuales. Si algunas están presentes, tendrá que explorarlas en nombre de las enfermeras registradas.

a) Diseñe una gráfica p.

b) Con base en su gráfica p y los datos de las últimas tres semanas, ¿qué puede concluir acerca del ausentismo de las ayudantes de enfermeras?

8. Un fabricante textil quiere establecer una gráfica de control para las irregularidades (como manchas de aceite, manchas del suelo del taller, hebras sueltas y rasgaduras) por cada 100 yardas cuadradas de alfombra. Los siguientes datos se recolectaron de una muestra de 20 piezas de 100 yardas cuadradas de alfombra:

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Irregularidades	11	8	9	12	4	16	5	8	17	10
Muestra	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Irregularidades	11	5	7	12	13	8	19	11	9	10

a) Utilice los datos para establecer una gráfica c con $z = 3$.

b) Suponga que las siguientes cinco muestras tienen 15, 18, 12, 22 y 21 irregularidades. ¿Qué concluye?

9. El IRS (oficina encargada del cobro de impuestos) está preocupado por mejorar la exactitud de la información de impuestos dada por sus representantes por teléfono. Los estudios anteriores incluían un conjunto de 25 peguntas de un número grande de representantes telefónicos para determinar la proporción de respuestas correctas. Históricamente, la proporción promedio de respuestas correctas ha sido 72%. Recientemente, los representantes del IRS han recibido más capacitación. El 26 de abril, el conjunto de 25 preguntas se preguntaron de nuevo al azar a 20 representantes de IRS. El número de respuestas correctas fueron 18, 16, 19, 21, 20, 16, 21, 16, 17, 10, 25, 18, 25, 16, 20, 15, 23, 19, 21 y 19.

a) ¿Cuáles son los límites de control superior e inferior para la gráfica apropiada del IRS? Utilice $z = 3$.

b) ¿Está bajo control estadístico el proceso de información sobre impuestos?

10. Una agencia de viajes está preocupada por la exactitud y apariencia de los itinerarios preparados para sus clientes. Los defectos pueden incluir errores en tiempos, líneas aéreas, números de vuelo, precios, información de renta de autos, hospedaje, números de tarjetas para el cobro y números de reservaciones, al igual que errores tipográficos. Como el número posible de errores es casi infinito, la agencia mide el número de errores que ocurren en realidad. Los resultados del proceso actual son un promedio de tres errores por itinerario.

a) ¿Cuáles son los límites de control de dos sigmas para estos defectos?

b) Un cliente programa un viaje a Dallas. Su itinerario contiene seis errores. Interprete esta información.

11. Jim's Outfitters, Inc. hace camisas a la medida para vaqueros. Las camisas pueden tener defectos de varias maneras, incluyendo fallas en el tejido o color de la tela, botones o decoraciones flojos, dimensiones equivocadas y puntadas disparejas. Jim examina al azar 10 camisas, con los siguientes resultados:

Camisa	Defectos
1	8
2	0
3	7
4	12
5	5
6	10
7	2
8	4
9	6
10	6

a) Suponga que 10 observaciones son adecuadas para estos propósitos, determine los límites de control de tres sigmas para defectos por camisa.

b) Suponga que la siguiente camisa tiene 13 defectos. ¿Qué puede decir acerca del proceso ahora?

12. La compañía Big Black Bird produce tapas para camper de fibra de vidrio. El proceso de producir una tapa debe controlarse para mantener bajo el número de hoyos. Cuando el proceso estaba bajo control, los siguientes defectos se encontraron en 10 tapas para camper seleccionadas al azar durante un periodo largo:

Tapa	Hoyos
1	7
2	9
3	14
4	11
5	3
6	12
7	8
8	4
9	7
10	6

a) Suponiendo que 10 observaciones son adecuadas para este propósito, determine los límites de control de tres sigmas para los hoyos por tapa de camper.

b) Suponga que la siguiente tapa tiene 15 hoyos. ¿Qué puede decir acerca del proceso ahora?

13. El administrador de producción en Sunny Soda, Inc. está interesado en rastrear la calidad de línea de llenado de botellas de 12 onzas de la compañía. Las botellas deben llenarse dentro de las tolerancias establecidas para este producto porque la información nutricional en la etiqueta muestra 12 onzas como tamaño de la porción. El diseño estándar para el producto requiere un nivel de llenado de 12.00 ± 0.10 onzas. El administrador recolectó los siguientes datos muestrales (en onzas de líquido por botella) sobre el proceso de producción:

	OBSERVACIÓN			
Muestra	**1**	**2**	**3**	**4**
1	12.00	11.97	12.10	12.08
2	11.91	11.94	12.10	11.96
3	11.89	12.02	11.97	11.99
4	12.10	12.09	12.05	11.95
5	12.08	11.92	12.12	12.05
6	11.94	11.98	12.06	12.08
7	12.09	12.00	12.00	12.03
8	12.01	12.04	11.99	11.95
9	12.00	11.96	11.97	12.03
10	11.92	11.94	12.09	12.00
11	11.91	11.99	12.05	12.10
12	12.01	12.00	12.06	11.97
13	11.98	11.99	12.06	12.03
14	12.02	12.00	12.05	11.95
15	12.00	12.05	12.01	11.97

a) ¿El promedio y rango del proceso están bajo control?

b) ¿Es capaz el proceso de cumplir el estándar de diseño para una calidad de cuatro sigmas? Explique.

14. La Money Pit Mortgage Company está interesada en monitorear el desempeño del proceso de hipotecas. Se tomaron 15 muestras de cinco transacciones hipotecarias terminadas cada una durante un periodo en que se pensó que el proceso estaba bajo control. Se midieron los tiempos para completar las transacciones. Las medias y rangos de los tiempos de transacción del proceso de hipotecas, medidos en días, son los siguientes:

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Media	17	14	8	17	12	13	15	16	13	14	16	9	11	9	12
Rango	6	11	4	8	9	14	12	15	10	10	11	6	9	11	13

Después, se tomaron muestras de tamaño cinco del proceso cada semana durante las 10 semanas siguientes. Se midieron los tiempos y se obtuvieron los siguientes resultados:

Muestra	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Media	11	14	9	15	17	19	13	22	20	18
Rango	7	11	6	4	12	14	11	10	8	6

a) Construya las gráficas de control para la media y el rango, usando las 15 muestras originales.

b) En las gráficas de control desarrolladas en el inciso *a*),

grafique los valores de las muestras 16 a 25 y comente si el proceso está bajo control.

c) En la parte *b)*, si concluye que el proceso está fuera de control, ¿lo atribuye a un cambio en la media, a un incremento en la variabilidad, o a ambos? Explique su respuesta.

15. La Money Pit Mortgage del problema 14 hizo cambios al proceso y emprendió un estudio de capacidad de este. Los siguientes datos se obtuvieron para 15 muestras de tamaño cinco. Con base en las observaciones individuales, la administración estimó que la desviación estándar del proceso era 4.21 (días) para utilizarla en el análisis de capacidad del proceso. Los límites de especificación superior e inferior (en días) para los tiempos del proceso de hipotecas fueron 5 y 25.

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Media	11	12	8	16	13	12	17	16	13	14	17	9	15	14	9
Rango	9	13	4	11	10	9	8	15	14	11	6	6	12	10	11

a) Calcule el índice de capacidad del proceso y la razón de capacidad del proceso.

b) Suponga que la administración estaría contenta con un desempeño de tres sigmas. ¿A qué conclusiones es probable que la administración llegue con el análisis de capacidad? ¿Pueden obtenerse conclusiones válidas acerca del proceso de este análisis?

c) ¿Qué acciones remediales, si las hay, sugiere que tome la administración?

16. Webster Chemical Company produce mastiques y selladores para la industria de la construcción. El producto se mezcla en grandes mezcladoras y luego se bombea hacia los tubos y se tapa. La administración está preocupada por si el proceso de llenado para tubos de sellador está bajo control estadístico. El proceso debe estar centrado en ocho onzas por tubo. Se tomaron varias muestras de ocho tubos, cada tubo se pesa y los pesos se registran. La tabla 5.3 contiene los pesos.

a) Suponga que solo seis muestras son suficientes y desarrolle las gráficas de control para la media y el rango.

b) Grafique las observaciones sobre la gráfica de control y comente lo que encuentre.

17. La administración en Webster, del problema 16, ahora quiere sabe si los tubos de sellador se tapan apropiadamente. Si una proporción significativa de los tubos no está bien sellada, Webster estaría enviando a sus clientes un producto pegajoso. Los tubos se empacan en cajas grandes de 144. Se inspeccionan varias cajas y se obtienen los siguientes números de tubos con fugas:

Muestra	Tubos	Muestra	Tubos	Muestra	Tubos
1	3	8	6	15	5
2	5	9	4	16	0
3	3	10	9	17	2
4	4	11	2	18	6
5	2	12	6	19	2
6	4	13	5	20	1
7	2	14	1	Total	72

Calcule los límites de control de tres sigmas de una gráfica *p* para evaluar si el proceso de tapar está bajo control estadístico.

18. En Webster Chemical Company, los grumos en el compuesto del sellador pueden ocasionar dificultades al verter el tubo. Aun cuando el proceso está bajo control, queda un promedio de cuatro grumos por tubo de sellador. Probar la presencia de grumos destruye el producto, de manera que un analista toma muestras aleatorias. Obtiene los siguientes resultados:

Tubo núm.	Grumos	Tubo núm.	Grumos	Tubo núm.	Grumos
1	6	5	6	9	5
2	5	6	4	10	0
3	0	7	1	11	9
4	4	8	6	12	2

Determine los límites de control superior e inferior de dos sigma para la gráfica *c* de este proceso. ¿Está el proceso bajo control estadístico?

TABLA 5.3 | ONZAS DE SELLADOR POR TUBO

	NÚMERO DE TUBO							
Muestra	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
1	7.98	8.34	8.02	7.94	8.44	7.68	7.81	8.11
2	8.33	8.22	8.08	8.51	8.41	8.28	8.09	8.16
3	7.89	7.77	7.91	8.04	8.00	7.89	7.93	8.09
4	8.24	8.18	7.83	8.05	7.90	8.16	7.97	8.07
5	7.87	8.13	7.92	7.99	8.10	7.81	8.14	7.88
6	8.13	8.14	8.11	8.13	8.14	8.12	8.13	8.14

19. Janice Sanders, director ejecutivo de Pine Crest Medical Clinic, está preocupada por el número veces que los pacientes tienen que esperar más de 30 minutos después de su cita programada. Le pide a su asistente que tome muestras aleatorias de 64 pacientes para saber cuántos de cada muestra tuvieron que esperar más de 30 minutos. Cada caso se considera un defecto en el proceso de la clínica. La tabla que sigue contiene los datos de las 15 muestras.

Muestras	Número de defectos
1	5
2	2
3	1
4	3
5	1
6	5
7	2
8	3
9	6
10	3
11	9
12	9
13	5
14	2
15	3

a) Suponiendo que Janice Sanders está dispuesta a utilizar límites de control de tres sigmas, construya una gráfica *p*.

b) Con base en su gráfica *p* y los datos de la tabla, ¿qué puede concluir acerca del tiempo de espera de los pacientes?

20. Los representantes de Patriot Insurance Company toman la información médica por teléfono de solicitantes prospectivos, antes de una visita a su lugar de residencia hecha por una enfermera registrada que toma las medidas de sus signos vitales. Cuando la entrevista por teléfono tiene información incompleta o incorrecta, todo el proceso de aprobación de las solicitudes se retrasa innecesariamente y existe el riesgo potencial de perder el negocio. Los siguientes datos se recolectaron para ver cuántas solicitudes contienen errores. Cada muestra tiene 200 solicitudes seleccionadas al azar.

Muestra	Defectos	Muestra	Defectos
1	20	16	15
2	18	17	40
3	29	18	35
4	12	19	21
5	14	20	24
6	11	21	9
7	30	22	20
8	25	23	17
9	27	24	28
10	16	25	10
11	25	26	17
12	18	27	22
13	25	28	14
14	16	29	19
15	20	30	20

a) ¿Cuáles son los límites de control de una gráfica *p* para el número de solicitudes defectuosas? Utilice $z = 3$.

b) ¿El proceso está bajo control estadístico?

21. Digital Guardian Company emite pólizas para proteger a los clientes de paros costosos debidos a fallas en el sistema de cómputo. Es muy importante procesar las pólizas con rapidez porque los ciclos de tiempo largos no solo ponen en riesgo al cliente, también a Digital Guardian. La administración se preocupa porque el servicio al cliente está bajando por los ciclos largo, medidos en días. La siguiente tabla contiene los datos de cinco muestras, cada muestra con ocho observaciones aleatorias.

	OBSERVACIÓN (DÍAS)							
Muestra	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
1	13	9	4	8	8	15	8	6
2	7	15	8	10	10	14	10	15
3	8	11	4	11	8	12	9	15
4	12	7	12	9	11	8	12	8
5	8	12	6	12	11	5	12	8

a) ¿Cuál es su estimación del promedio del proceso?

b) Cuál es su estimación del rango promedio?

c) Elabore una gráfica *R* y una gráfica $\bar{x}$ para este proceso. ¿Hay causas asignables presentes?

22. Farley Manufacturing Company está orgullosa de sí misma por la calidad de sus productos. La compañía está involucrada en la competencia por un proyecto importante. Un elemento clave es una parte que al final se utiliza en un equipo de pruebas de precisión. Las especificaciones son 8.000 ± 3.000 milímetros. La administración está preocupada por la capacidad del proceso para fabri-

car la parte. Los siguientes datos (mostrados en la tabla) se recolectaron al azar durante las corridas de prueba del proceso.

	OBSERVACIÓN (MILÍMETROS)							
Muestras	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
1	9.100	8.900	8.800	9.200	8.100	6.900	9.300	9.100
2	7.600	8.000	9.000	10.100	7.900	9.000	8.000	8.800
3	8.200	9.100	8.200	8.700	9.000	7.000	8.800	10.800
4	8.200	8.300	7.900	7.500	8.900	7.800	10.100	7.700
5	10.000	8.100	8.900	9.000	9.300	9.000	8.700	10.000

Suponga que el proceso está bajo control estadístico. ¿El proceso es capaz de producir la parte al nivel de tres sigmas? Explique.

23. Una dimensión crucial de la calidad de servicio de un centro de llamadas es el tiempo de espera del que llama para llegar a un representante de ventas. Periódicamente, se mide el tiempo de muestras aleatorias de tres llamadas de clientes. Los resultados de las últimas cuatro muestras se dan en la tabla.

Muestras	***Tiempo (s)***		
1	495	501	498
2	512	508	504
3	505	497	501
4	496	503	492

a) Suponga que la administración está dispuesta a utilizar límites de control de tres sigmas. Con solo la información histórica contenida en las cuatro muestras, demuestre que el tiempo de acceso al centro de llamadas está bajo control estadístico.

b) Suponga que la desviación estándar de la distribución del proceso es 5.77. Si las especificaciones para el tiempo de acceso son 500 ± 18 s, ¿es capaz el proceso? ¿Por qué sí o por qué no? Suponga que tres sigmas es el desempeño deseado.

24. Un torno automático produce ruedas para cojinetes de rodillos y el proceso está monitoreado por gráficas de control estadístico del proceso. La línea central de la gráfica de medias muestrales se fija en 8.50 y el rango en 0.31 mm. El proceso está bajo control como lo establecen las muestras de tamaño 5. Las especificaciones superior e inferior para el diámetro de las ruedas son (8.50 + 0.25) y (8.50 – 0.25) mm, respectivamente.

a) Calcule los límites de control para las gráficas de medias y rangos.

b) Si la desviación estándar de la distribución del proceso se estima en 0.13 mm, ¿es capaz el proceso de cumplir las especificaciones? Suponga que se desea un desempeño de cuatro sigmas.

c) Si el proceso no es capaz, ¿qué porcentaje de la salida caerá fuera de los límites de especificación? (*Sugerencia*: utilice la distribución normal).

Problemas avanzados

25. Las galletas para perro Canine Gourmet Super Breath se venden en cajas etiquetadas con peso neto de 12 onzas (340 gramos). Cada caja contiene ocho paquetes individuales de 1.5 onzas. Para reducir la oportunidad de darle menos al consumidor, las especificaciones de diseño del producto exigen un promedio en el proceso de llenado de 43.5 gramos para que el peso neto promedio por caja sea de 348 gramos. Las tolerancias para la caja se establecen en un peso de 348 ± 12 gramos. La desviación estándar para el llenado de paquetes es 1.01 gramos. La razón meta de capacidad del proceso es 1.33. Un día, el peso promedio del proceso de llenado se desliza hacia abajo a 43.0 gramos. ¿El proceso de empaque es eficiente? ¿Se necesita un ajuste?

26. La Precision Machining Company hace herramientas portátiles en una línea de ensamble que produce un producto cada minuto. En uno de los productos, la dimensión de calidad crucial es el diámetro (medido en milésimas de pulgada) de un agujero perforado en uno de los ensambles. La administración quiere detectar cualquier cambio en el diámetro promedio del proceso de 0.015 pulgadas. La administración considera que la varianza en el proceso está bajo control. Históricamente, el rango promedio ha sido 0.002 pulgadas, sin importar el promedio del proceso. Diseñe una gráfica $\bar{x}$ para controlar este proceso, con una línea central en 0.015 pulgadas y límites de control de tres sigmas desde la línea central.

La administración proporciona los resultados de 80 minutos de salida de la línea de producción, como se muestra en la tabla 5.4. Durante estos 80 minutos, el promedio del proceso cambió una vez. Todas las medidas están en milésimos de pulgada.

a) Establezca una grafica $\bar{x}$ con $n = 4$. La frecuencia debe ser un muestreo de cuatro y luego saltarse cuatro. Así, la primera muestra sería para los minutos 1 a 4, la segunda en los minutos 9 a 12, etc. ¿Cuándo detendría el proceso para verificar si hubo un cambio en el promedio?

b) Establezca una gráfica $\bar{x}$ con $n = 8$. La frecuencia debe ser muestrear ocho y luego saltar cuatro. ¿Cuándo detendría el proceso? ¿Qué puede decir de lo deseable de muestras grandes en un intervalo de muestreo frecuente?

27. Utilice los datos del problema 26, continúe con su análisis de tamaño de muestra y frecuencia intentando los siguientes planes.

a) Utilice la gráfica $\bar{x}$ para $n = 4$, trate la frecuencia de muestreo de cuatro, luego salte ocho. ¿Cuándo detendría el proceso en este caso?

b) Establezca una gráfica $\bar{x}$ con $n = 8$. La frecuencia debe ser muestrear ocho y luego saltar ocho. ¿Cuándo consideraría que el proceso está fuera de control?

TABLA 5.4 | DATOS DE MUESTREO PARA PRECISION MACHINING COMPANY

Minutos	**Diámetro (en milésimas de pulgada)**											
1–12	15	16	18	14	16	17	15	14	14	13	16	17
13–24	15	16	17	16	14	14	13	14	15	16	15	17
25–36	14	13	15	17	18	15	16	15	14	15	16	17
37–48	18	16	15	16	16	14	17	18	19	15	16	15
49–60	12	17	16	14	15	17	14	16	15	17	18	14
61–72	15	16	17	18	13	15	14	14	16	15	17	18
73–80	16	16	17	18	16	15	14	17				

TABLA 5.5 | DATOS DE MUESTREO PARA DATA TECH CREDIT CARD SERVICE

Muestras	**Número de errores en la muestra de 250**									
1–10	3	8	5	11	7	1	12	9	0	8
11–20	3	5	7	9	11	3	2	9	13	4
21–30	12	10	6	2	1	7	10	5	8	4

c) Utilice sus resultados de los incisos *a)* y *b)*, determine qué balances o intercambios consideraría al elegir entre ellos.

28. El administrador del departamento de servicio a clientes de Data Tech Credit Card Service Company está preocupado por el número de defectos producidos por el proceso de facturación. Cada día se inspecciona una muestra aleatoria de 250 estados de cuenta para ver si hay errores de entradas incorrectas de números de cuenta, transacciones en la cuenta del cliente, cargos de intereses y cargos de penalización. Cualquier estado de cuenta con uno o más errores se considera defectuoso. El estudio duró 30 días y dio los datos de la tabla 5.5.

a) Elabore una gráfica *p* para el proceso de facturación.

b) ¿Existe un comportamiento no aleatorio en el proceso de facturación que requiere la atención del administrador?

29. Red Baron Airlines da servicio a cientos de ciudades cada día, pero aumenta la competencia de compañías pequeñas afiliadas a las líneas principales. Una de las prioridades competitivas clave es llegadas y salidas a tiempo. Red Baron define a *tiempo* cualquier llegada o salida que tiene lugar dentro de los 15 minutos antes o después de la hora programada. Para seguir arriba en el mercado, la administración establece el alto estándar de un desempeño de 98% a tiempo. El departamento de operaciones quedó a cargo de monitorear el desempeño de la línea aérea. Cada semana, una muestra aleatoria de 300 llegadas y salidas de vuelos se verifica para ver su desempeño de horario. La tabla 5.6 contiene los números de llegadas y salidas de las últimas 30 semanas que no cumplieron con la definición de Red Baron de servicio a tiempo. ¿Qué puede decir al administrador acerca de la calidad del servicio? ¿Puede identificar algún comportamiento no aleatorio en el proceso? Si es así, ¿qué ocasionaría ese comportamiento?

30. Beaver Brothers, Inc. realiza un estudio para evaluar la capacidad de su línea de producción de la barra de jabón de 150 gramos. Una medida de calidad importante es el peso de las barras después de estamparlas. Los límites de especificación superior e inferior son 162 y 170 gramos, respectivamente. Como parte de un estudio inicial de la capacidad, el grupo de aseguramiento de la calidad recolecta 25 muestras de tamaño cinco y registra las observaciones dadas en la tabla 5.7.

Después de analizar los datos usando gráficas de control estadístico, el grupo de aseguramiento de la calidad calculó la razón de capacidad del proceso, C_p, y el índice de capacidad del proceso, C_{pk}. Después decide mejorar el proceso de estampado, en especial el mecanismo alimentador. Después de hacer los cambios que se consideraron necesarios, se recolectaron 18 muestras adicionales. El resumen de los datos de estas muestras es:

$$\bar{\bar{x}} = 163 \text{ gramos}$$

$$\bar{R} = 2.326 \text{ gramos}$$

$$\sigma = 1 \text{ gramo}$$

Todas las observaciones muestrales estaban dentro de los límites de control de la gráfica. Con los nuevos datos, el grupo de aseguramiento de la calidad recalculó las medidas de capacidad del proceso. Estaba satisfecho con el C_p mejorado, pero sintió que el proceso debía estar centrado en 166 gramos para asegurar que todo estuviera en orden. La decisión concluyó el estudio.

a) Dibuje las gráficas de control para los datos obtenidos en el estudio inicial y verifique que el proceso está bajo control estadístico.

b) ¿Cuáles fueron los valores obtenidos por el grupo para C_p y C_{pk} para el estudio inicial de la capacidad? Comente lo que encontró y explique por qué fueron necesarias más mejoras.

c) ¿Cuáles son los valores de C_p y C_{pk} después de las mejoras? Comente sus hallazgos, indique por qué el grupo decidió cambiar el centro del proceso.

d) ¿Cuáles son los valores de C_p y C_{pk} si el proceso se centra en 166? Comente sus hallazgos.

TABLA 5.6 | DATOS DE MUESTRAS PARA RED BARON AIRLINES

Muestras	Número de eventos tarde en la muestra de 300 llegadas y salidas									
1–10	3	8	5	11	7	2	12	9	1	8
11–20	3	5	7	9	12	5	4	9	13	4
21–30	12	10	6	2	1	8	4	5	8	2

TABLA 5.7 | DATOS DE MUESTRAS PARA BEAVER BROTHERS, INC.

Muestra	OBS 1	OBS 2	OBS 3	OBS 4	OBS 5
1	167.0	159.6	161.6	164.0	165.3
2	156.2	159.5	161.7	164.0	165.3
3	167.0	162.9	162.9	164.0	165.4
4	167.0	159.6	163.7	164.1	165.4
5	156.3	160.0	162.9	164.1	165.5
6	164.0	164.2	163.0	164.2	163.9
7	161.3	163.0	164.2	157.0	160.6
8	163.1	164.2	156.9	160.1	163.1
9	164.3	157.0	161.2	163.2	164.4
10	156.9	161.0	163.2	164.3	157.3
11	161.0	163.3	164.4	157.6	160.6
12	163.3	164.5	158.4	160.1	163.3
13	158.2	161.3	163.5	164.6	158.7
14	161.5	163.5	164.7	158.6	162.5
15	163.6	164.8	158.0	162.4	163.6
16	164.5	158.5	160.3	163.4	164.6
17	164.9	157.9	162.3	163.7	165.1
18	155.0	162.2	163.7	164.8	159.6
19	162.1	163.9	165.1	159.3	162.0
20	165.2	159.1	161.6	163.9	165.2
21	164.9	165.1	159.9	162.0	163.7
22	167.6	165.6	165.6	156.7	165.7
23	167.7	165.8	165.9	156.9	165.9
24	166.0	166.0	165.6	165.6	165.5
25	163.7	163.7	165.6	165.6	166.2

Ejercicio de modelo activo

Este modelo activo se encuentra en MyOMLab. Permite ver los efectos del tamaño de la muestra y los valores *z* sobre las gráficas de control.

PREGUNTAS

1. ¿Ha estado el proceso de registro bajo control estadístico?
2. Suponga que usamos una gráfica *p* con 95%. ¿Cómo cambian los límites superior e inferior? ¿Cuáles son sus conclusiones acerca del proceso de registro?
3. Suponga que se reduce el tamaño de la muestra a 2,000 en lugar de 2,500. ¿Cómo afecta esto a la gráfica?
4. ¿Qué pasa con la gráfica cuando se reduce el valor *z*?
5. ¿Qué pasa con la gráfica cuando se reduce el nivel de confianza?

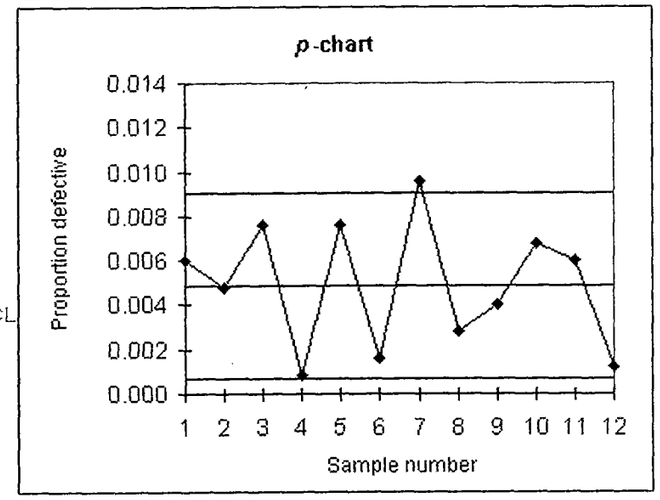
p-Chart

Reset Data | Questions

Number of samples	12
Sample size	2500
z value	3.0000
Confidence	99.73%

	# Defects	Fraction Defective	
Sample 1	15	0.0060	
Sample 2	12	0.0048	
Sample 3	19	0.0076	
Sample 4	2	0.0008	
Sample 5	19	0.0076	
Sample 6	4	0.0016	
Sample 7	24	0.0096	Above UCL
Sample 8	7	0.0028	
Sample 9	10	0.0040	
Sample 10	17	0.0068	
Sample 11	15	0.0060	
Sample 12	3	0.0012	

Total sample size	30000	Upper Control Limit	0.0091
Total defects	147	Center Line	0.0049
Percentage defects	0.0049	Lower Control Limit	0.0007
Std dev of *p*-bar	0.0014		



p-Chart Using Data from Example 5.3

CASO EN VIDEO Desempeño del proceso y calidad en Starwood Hotels & Resorts

Starwood Hotels & Resorts no es ajeno a la medición de la calidad. En el año más reciente, las propiedades Starwood en el mundo tienen aproximadamente 51 de los 700 lugares en Condé Nast's Gold List de los mejores lugares del mundo para quedarse. Sus programas de spa y golf han estado clasificados entre los mejores del mundo.

En Starwood, los procesos y programas están impulsados por el trabajo de su equipo de expertos en Six Sigma, llamados Cintas Negras. Desarrollado por Motorola hace más de 20 años, Six Sigma es un sistema integral y flexible para lograr, sostener y maximizar el éxito en los negocios eliminando los defectos y la variabilidad en un proceso. Starwood utiliza el proceso DMAIC de cinco pasos: **1.** definir, **2.** medir, **3.** analizar, **4.** mejorar y **5.** controlar.

Es claro que comprender las necesidades de los clientes es fundamental. Para esto, Starwood recolecta datos de los clientes en su encuesta del índice de satisfacción del cliente llamada "Voz del cliente". La encuesta cubre todos los departamentos que el cliente puede haber cruzado durante su estancia, de la recepción y la habitación a los restaurantes y el conserje. Encuestas pasadas indicaron que resolver bien los problemas durante la estancia del cliente era un impulsor clave para calificaciones altas de satisfacción. Para aumenta sus calificaciones en la solución de problemas, la marca Sheraton de Starwood lanzó su programa "Promesa de servicio Sheraton" en Estados Unidos y Canadá. El programa estaba diseñado para dar a los clientes un solo punto de contacto para reportar cualquier problema. Era un intento por enfocar la atención de los asistentes en cuidar los aspectos de servicio durante la estancia del cliente dentro de los 15 minutos siguientes a la notificación.

No obstante, aunque las calificaciones subían, no era suficiente. Sheraton trajo al equipo de Six Sigma para ver qué podía hacer. El equipo empleó el modelo básico de Six Sigma de definir-medir-analizar-mejorar-controlar para guiar su trabajo. Para definir el problema, el equipo trabajó con datos recolectados y analizados por una organización de encuestas independiente, la National Family Opinion. El estudio indicó que eran necesarios tres factores clave en la solución de problemas: **1.** velocidad, **2.** empatía y **3.** eficiencia. Los tres deben cumplirse para que los huéspedes estén satisfechos y la "Promesa de servicio

Sheraton" sea una realidad. Después, el equipo estudió los procesos específicos que afectaban el desempeño; los operadores de teléfono que manejaban las quejas, los procedimientos para determinar a quién llamar, las cargas de ingeniería, etc. Se midió el trabajo identificado en cada área. Por ejemplo, se establecieron bitácoras de llamadas para ver la velocidad, la empatía del asistente que maneja la llamada y la eficiencia del personal encargado de arreglar el problema. Los datos recolectados se analizaron para determinar por qué no se resolvían los problemas de los huéspedes dentro de los 15 minutos. Se utilizaron gráficas de Pareto y otras técnicas para el análisis.

El paso final incluyó el control y monitoreo para asegurar que el proceso mejorado, desarrollado por Six Sigma, se convertía en parte de la cultura y que no lo abandonaban después de terminado el trabajo del equipo. El rastreo continúa 12 a 18 meses, con retroalimentación mensual para el administrador o el jefe del departamento responsable del programa "Promesa de servicio Sheraton". El esfuerzo de mejoramiento ve sus beneficios —incluyendo los niveles de servicio y desempeño financiero— y la experiencia se puede utilizar para mejorar sus propias operaciones.

PREGUNTAS

1. Implantar los programas de Six Sigma toma un tiempo y compromiso considerable por parte de una organización. En términos de compromiso de arriba-abajo, sistemas de medición para rastrear el avance, establecimiento de metas duras, educación, comunicación y prioridades de los clientes, evalúe el grado en el que Starwood abordó con éxito cada uno con el rediseño del programa "Promesa de servicio Sheraton".
2. ¿Cómo puede el nuevo programa de "Promesa de servicio Sheraton" ayudar a Starwood a evitar los cuatro costos de bajo desempeño y calidad en los procesos (prevención, evaluación, falla interna y falla externa)?
3. Starwood es la primera marca importante de hoteles que se compromete en un programa Six Sigma para mejorar la calidad. ¿Por qué una organización puede estar renuente a seguir este tipo de metodología formalizada? ¿Qué otros enfoques pudo usar Starwood o sus competidores?

APRENDIZAJE EXPERIENCIAL — Control estadístico de procesos con una catapulta de monedas

Ejercicio A: gráficas de control por variables

Materiales

1 regla

1 lápiz o pluma

1 moneda (de un peso funcionará bien)

1 palo

Una hoja de trabajo para el ejercicio

Acceso a una calculadora

Tareas

Dividirse en equipos de dos a cuatro personas. Si hay cuatro personas en el equipo,

una sostiene el palo y observa la acción,

otra ajusta la catapulta y lanza la moneda,

otra persona observa la altura máxima en cada prueba y

la cuarta persona registra los resultados.

Si los equipos tienen menos de cuatro, proporcione un apoyo para el palo y combine las otras tareas como sea adecuado.

Práctica

Para catapultar la moneda, ponga un lápiz o pluma abajo de la marca de seis pulgadas de la regla. Coloque la moneda sobre la marca de 11 pulgadas. Presione ambos extremos de la regla, tanto como pueda. Suelte el extremo con la moneda, que saldrá catapultada al aire. La persona que sostiene el palo debe colocarlo adyacente a la trayectoria de la moneda, pero sin interferir con la misma. Para observar la altura máxima que alcanza la moneda, el observador debe hacerse hacia atrás hasta que sus ojos estén al mismo nivel de la altura máxima de la trayectoria de la moneda. Practiquen hasta que la persona sienta que está bien en su papel. La persona que opera la catapulta debe asegurarse de que el punto de apoyo del lápiz o pluma no se mueve entre disparos y que cada lanzamiento se realiza de manera más estable posible.

Paso 1. *Reunir datos.* Tome cuatro muestras de cinco observaciones (lanzamientos) cada una. Registre la máxima altura alcanzada por la moneda en la primera tabla de datos de la hoja de trabajo. Al terminar, determine la media y el rango de cada muestra y calcular la media de las medias $\bar{\bar{x}}$ y la media del rango $\bar{R}$.

Paso 2. *Desarrollar una gráfica R.* Utilice los datos y los valores D_3 y D_4 adecuados, calcular los límites de control superior e inferior con tres sigmas para el rango. Registre estos valores y grafique el rango para cada una de las cuatro muestras en la gráfica de rangos de la hoja de trabajo. Debe estar seguro de indicar la escala apropiada para el rango en el eje *y*.

Paso 3. *Desarrollar una gráfica $\bar{x}$.* Ahora, con los datos reunidos y el valor adecuado para A_2, calcule los límites de control superior e inferior con tres sigmas para las medias de las muestras. Registre estos valores y grafique la media para cada una de las cuatro muestras en la gráfica $\bar{x}$ en la hoja de trabajo. De nuevo indique una escala apropiada en el eje *y*.

Paso 4. *Observar el proceso.* Una vez establecida la gráfica de control para un proceso, se utiliza para monitorear el proceso e identificar cuándo el funcionamiento no es "normal". Recolecte dos muestras más de cinco pruebas cada una, como lo hizo para reunir los primeros datos. Grafique el rango y la media muestral en las gráficas elaboradas en la hoja de trabajo cada vez que recolecte una muestra. ¿Qué observa que puede afectar el proceso? ¿Indica la gráfica que el proceso está operando igual que cuando recolectó los primeros datos?

Paso 5. *Observar un proceso cambiado.* Ahora cambie algo (por ejemplo, mueva el lápiz abajo de la marca de ocho pulgadas). Recolecte datos para las muestras 7 y 8. Grafique el rango y la media de la muestra en las gráficas elaboradas en la hoja de trabajo cuando complete cada muestra. ¿Puede detectar un cambio en el proceso en su gráfica de control? Si el proceso cambió, ¿qué tan seguro está de que este cambio es real y no solo se debe a la muestra específica que eligió?

Ejercicio B: gráficas de control por atributos

Materiales

1 regla

1 lápiz o pluma

1 moneda (de un peso funcionará bien)

1 vaso desechable de papel o plástico (con boca de cuatro pulgadas)

Una hoja de trabajo para el ejercicio

Acceso a una calculadora

Tareas

Dividirse en equipos de dos o tres personas. Si hay tres personas en el equipo,

una persona ajusta la catapulta y lanza la moneda,

otra persona observa los resultados y alcanza la moneda y

la tercera persona registra los resultados.

Si el equipo se forma con dos personas, combine las tareas como sea apropiado.

Práctica

El objetivo es lanzar con la regla una moneda dentro del vaso. Para catapultar la moneda coloque el lápiz o pluma abajo de la marca de seis pulgadas de la regla.

Coloque la moneda en la marca de 11 pulgadas y deje que su peso sostenga ese extremo de la regla en la mesa. Golpee con su mano el extremo elevado de la regla para lanzar la moneda al aire. Coloque un vaso en el lugar en el que cayó la moneda para que en el siguiente lanzamiento, la moneda caiga adentro. Tendrá que practicar varias veces hasta que encuentre qué tan fuerte debe golpear la regla y la mejor posición del vaso. Debe estar seguro de que el apoyo del lápiz o pluma no se mueve entre disparos y que cada lanzamiento se realiza de la manera más estable posible.

Paso 1. *Reunir datos.* Intente catapultar la moneda dentro del vaso 10 veces para cada muestra. Registre cada prueba en la tabla de datos de la hoja de trabajo como dentro (D) o fuera (F) según caiga. La proporción de fuera será el número de veces que quede la moneda fuera dividido entre el tamaño de la muestra, *n*, en este caso 10. Un fuera es un "defecto", de manera que la proporción de fuera es la proporción de defectos, *p*.

Paso 2. *Desarrollar una gráfica p.* Calcule los límites superior e inferior de los límites de control de tres sigmas para la fracción promedio de defectos. Grafique estos valores y la media para cada una de las cuatro muestras en la gráfica *p* en la hoja de trabajo.

Paso 3. *Observar el proceso.* Una vez que la gráfica se estabiliza para un proceso, se utiliza para monitorearlo e identificar un comportamiento anormal. Intercambien tareas para que alguien más catapulte la moneda. Después de unos disparos de práctica, tome más muestras de 10. Grafique la proporción de defectos en la salida de esta persona. ¿El proceso todavía está bajo control? Si no lo está, ¿qué tan seguro está de que está fuera de control? ¿Puede determinar los límites de control para un nivel de confianza de 95%? Con estos límites, ¿su proceso revisado está todavía bajo control?

Fuente: la base del ejercicio A fue escrita por J. Christopher Sandvig, Western Washington University, como una variación del ejercicio "Catapulting Coins" de *Games and Exercises for Operations Management* por Janelle Heinke y Larry Meile (Prentice Hall, 1995). Dados estos fundamentos, Larry Meile de Boston College escribió el ejercicio A, también escribió el ejercicio B como una nueva extensión.

Referencias seleccionadas

Babbar, Sunil. "Service Quality and Business Ethics", *International Journal of Service and Operations Management*, vol. 1, núm. 3, 2005, pp. 203-219.

Babbar, Sunil. "Teaching Ethics for Quality as an Innovation in a Core Operations Management Course", *Decision Sciences Journal of Innovative Education*, vol. 8, núm. 2, 2010, pp. 361-366.

Besterfield, Dale. *Quality Control*, 8a ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2009.

Collier, David A. *The Service Quality Solution*. Nueva York: Irwin Professional Publishing; Milwaukee: ASQC Quality Press, 1994.

Crosby, Philip B. *Quality Is Free: The Art of Making Quality Certain*. Nueva York: McGraw-Hill, 1979.

Deming, W. Edwards. *Out of the Crisis*. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology Center for Advanced Engineering Study, 1986.

Duncan, Acheson J. *Quality Control and Industrial Statistics*, 5a ed. Homewood, IL: Irwin, 1986.

Feigenbaum, A.V. *Total Quality Control: Engineering and Management*, 3a ed. Nueva York: McGraw-Hill, 1983.

Hartvigsen, David. *SimQuick: ProcessSimulation with Excel*, 2a ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2004.

Hoyle, David. *ISO 9000*, 6a ed. Oxford: Butler-Heinemann, 2009.

Juran, J.M., and Frank Gryna, Jr. *Quality Planning and Analysis*, 2a ed. Nueva York: McGraw-Hill, 1980.

Kerwin, Kathleen. "When Flawless Isn't Enough". *Business Week* (8 de diciembre, 2003), pp. 80-82.

Lucier, Gregory T. y Sridhar Seshadri. "GE Takes Six Sigma Beyond the Bottom Line", *Strategic Finance* (mayo, 2001), pp. 41-46.

Mitra, Amitava. *Fundamentals of Quality Control and Improvement*, 3a ed. Hoboken, NJ: Wiley & Sons, 2008.

Pande, Peter S., Robert P. Neuman y Roland R. Cavanagh. *The Six Sigma Way*. New York: McGraw-Hill, 2000.

Russell, J. P. y Dennis Arter. *ISO Lesson Guide to ISO 9001*, 3a ed. Milwaukee: ASQC Quality Press, 2008.

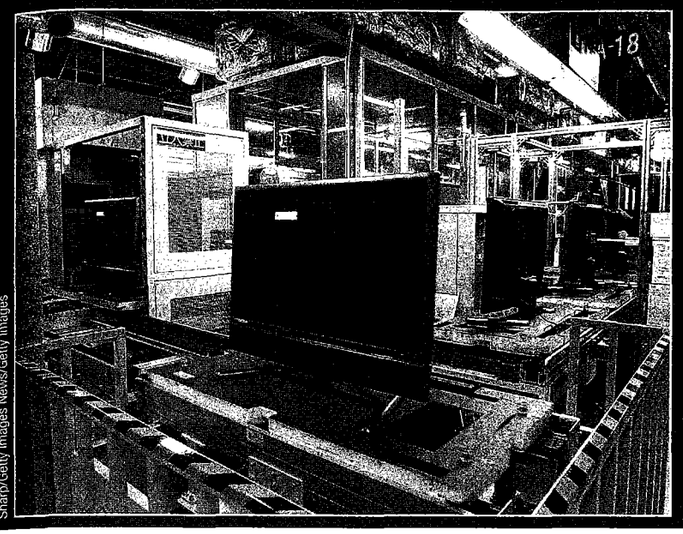
Schwarz, Anne. "Listening to the Voice of the Customer Is the Key to QVC's Success", *Journal of Organizational Excellence* (invierno, 2004), pp. 3-11.

Sester, Dennis. "Motorola: A Tradition of Quality", *Quality* (octubre, 2001), pp. 30-34.

Yannick, Julliard. "Ethics Quality Management", *Techne' Journal*, vol. 8, núm. 1 (otoño, 2004), pp. 117-135.

6

PLANEACIÓN DE LA CAPACIDAD



Sharp/Getty Images News/Getty Images

Líneas de televisores LCD en la planta de 150 mil millones de yenes de la compañía de electrónicos Sharp en Kameyama, en la prefectura de Mie, de Japón. Estos televisores LCD de primera clase, equipados con un panel LCD de 6.22 megapuntos en su delgado cuerpo de 8.65 cm de ancho, están diseñados para cumplir la demanda incipiente de televisores más grandes pero más delgados.

Sharp Corporation

Sharp Corporation fundada en 1912 en Japón, es un fabricante mundial y distribuidor de productos al consumidor e información como los televisores y proyectores LCD, las grabadoras de DVD, los aparatos de comunicación móvil, los sistemas de punto de venta, aparatos para el hogar como refrigeradores, hornos de microondas y componentes electrónicos como memorias flash, paneles LCD y sensores ópticos, entre otros. Tiene fabricación, ventas y presencia de investigación y desarrollo en 25 países y regiones del mundo. Para la producción de sus LCD de gran tamaño, necesarios en los televisores, Sharp aumentó la capacidad de su planta número dos en Kameyama, Japón, de 15,000 hojas de LCD por mes en agosto de 2006 a 30,000 hojas de LCD por mes durante la segunda etapa en enero de 2007. Los incrementos de la capacidad en la tercera etapa (julio de 2007) llegaron a 60,000 hojas de LCD por mes. El televisor LCD de 108 pulgadas, el más grande en ese tiempo, se hacía en la planta dos de Kameyama con sustratos de vidrio de ocho generaciones.

¿Esta expansión tan rápida de capacidad a largo plazo es una buena idea? las opiniones varían, aunque Sharp ha prosperado en los últimos años gracias a su negocio de LCD, la decisión de expandir se tomó porque la capacidad de producción había alcanzado su límite y Sharp no podía satisfacer su demanda de mercado. Como resultado, Sharp estaba perdiendo ventas globales de televisores LCD y su porcentaje en el segundo trimestre de 2006 era solo 10.8%, el cuarto después de Sony, Samsung y Philips. Sin embargo, la competencia no se quedó ociosa, aun cuando Sharp amplió su capacidad para las hojas de LCD. Una compañía producto de una alianza estratégica entre Sony y Samsung planeaba abrir una nueva planta en el otoño de 2007 con la misma capacidad que la planta de Sharp en Kameyama. Los críticos temían que si los tres grandes jugadores continuaban agregando

capacidad más rápido que la tasa a la que el mercado podía crecer, eso les llevaría a una industria madura con demasiada capacidad y poca rentabilidad.

Mientras tanto, Sharp apuesta a que los costos de las pantallas planas de LCD declinarán con rapidez debido a la producción en masa, una estrategia que también está utilizando para producir celdas solares tipo película delgada en la planta Katsuragi, que puede aumentar la generación de energía de 15 MW por año a 160 MW por año. Sharp también espera que las inversiones en alta capacidad en las hojas de LCD ayuden a mejorar su posición de liderazgo en la industria de LCD en el futuro, aun cuando puede llegar a costa de una menor rentabilidad para toda la industria.

Fuente: William Trent, "LCD Producers Continue to Add Too Much Capacity as They Battle for Market Share", **http://seekingalpha.com/article/19038-**lcd-producers-continue-to-add-too-much-capacity-as-they-battle-for-market-share, octubre, 2006; **http://www.sharp-world.com/corporate/info/ci/g_organization/index.html, y http://www.sharp-world.com/corporate/ir/event/policy_meeting/pdf/shar080108e_1.pdf**, 31 de mayo, 2011.

METAS DE APRENDIZAJE *Después de estudiar este capítulo, usted será capaz de:*

1. Definir capacidad y utilización.
2. Describir economías y deseconomías de escala.
3. Identificar diferentes estrategias de tiempo y tamaño de la capacidad.
4. Identificar un enfoque sistemático para la planeación de la capacidad.
5. Describir cómo los modelos de líneas de espera, simulación y árboles de decisión ayudan a la toma de decisiones de capacidad.

Creación de valor mediante la administración de operaciones

↓

Utilización de las operaciones para competir
Administración de proyectos

Administración de procesos

↓

Estrategia de procesos
Análisis de procesos
Calidad y desempeño
Planeación de la capacidad
Administración de restricciones
Sistemas esbeltos

Administración de la cadena de suministro

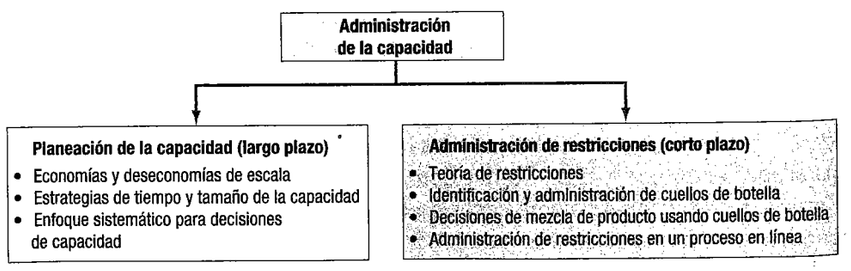
↓

Administración del inventario de la cadena de suministro
Diseño de la cadena de suministro
Decisiones de localización de la cadena de suministro
Integración de la cadena de suministro
Sustentabilidad de la cadena de suministro y logística humanitaria
Pronósticos
Planeación y programación de las operaciones
Planeación de recursos

Capacidad es la tasa máxima de salida de un proceso o sistema. Los administradores son responsables de asegurar que la empresa tenga la capacidad para satisfacer la demanda actual y futura. De otra manera, la organización pierde oportunidades de crecimiento y ganancias. Hacer ajustes para disminuir la capacidad o para vencer faltantes, como lo hizo Sharp cuando seguía de cerca a sus competidores para las pantallas LCD; por lo tanto, es una parte importante del trabajo. La adquisición de nueva capacidad requiere planeación extensa y con frecuencia implica un gasto significativo de recursos y tiempo. Tener nueva capacidad en una línea puede tomar varios años; por ejemplo, en la industria de semiconductores o en la construcción de nuevas plantas de energía nuclear.

Las decisiones de capacidad relacionadas con un proceso necesitan tomarse a la luz del papel que juega este dentro la organización y la cadena de suministro como un todo, porque cambiar la capacidad de un proceso tendrá impacto sobre otros en la cadena. Aumentar o disminuir la capacidad en sí, no es tan importante como asegurar que toda la cadena de suministro, de la recepción de órdenes a la entrega, está diseñada con efectividad. Las decisiones de capacidad deben tomarse a la luz de varios aspectos de largo plazo como economías y deseconomías de escala de la empresa, amortiguadores de capacidad, estrategias de tiempo y tamaño y trueques entre servicio a clientes y utilización de la capacidad.

Este capítulo se enfoca en la mejor manera para los administradores de revisar los niveles de capacidad y determinar cuándo agregar o reducir capacidad para el largo plazo. El tipo de decisiones de capacidad difieren para horizontes de tiempo distintos. Los aspectos de largo y corto plazo asociados con la planeación de la capacidad y la administración de restricciones son importantes y deben comprenderse en conjunto. Mientras aquí se manejan las decisiones a largo plazo mostradas en el marco de trabajo de la administración de la capacidad, las decisiones a corto plazo centradas en obtener el mayor provecho de la capacidad existente administrando las restricciones se exploran más a fondo en el capítulo 7, "Administración de restricciones".



Planeación de la capacidad en toda la organización

capacidad
Tasa máxima de salida de un proceso o sistema.

Las decisiones de capacidad tienen implicaciones para diferentes áreas funcionales en toda la organización: contabilidad necesita proporcionar información de costos para evaluar la decisión de expansión de la capacidad; finanzas realiza un análisis financiero de las inversiones en la expansión de capacidad propuesta y reúne fondos para apoyarlas; marketing proporciona los pronósticos de demanda necesarios para identificar diferencias de capacidad; sistemas de información para la administración diseña la infraestructura que se requiere para que los datos como costos, medidas de desempeño financiero, pronósticos de demanda y estándares de trabajo estén disponibles para analizar las opciones de capacidad; operaciones está involucrado en la selección de estrategias de capacidad que se pueden implementar para satisfacer la demanda futura con efectividad; compras facilita la adquisición de capacidad externa de los proveedores; y, por último, recursos humanos se enfoca en contratar y capacitar a los empleados necesarios para apoyar los planes de capacidad interna. Entonces, todos los departamentos de una empresa participan en y son afectados por las decisiones de planeación de la capacidad a largo plazo.

Planeación de la capacidad a largo plazo

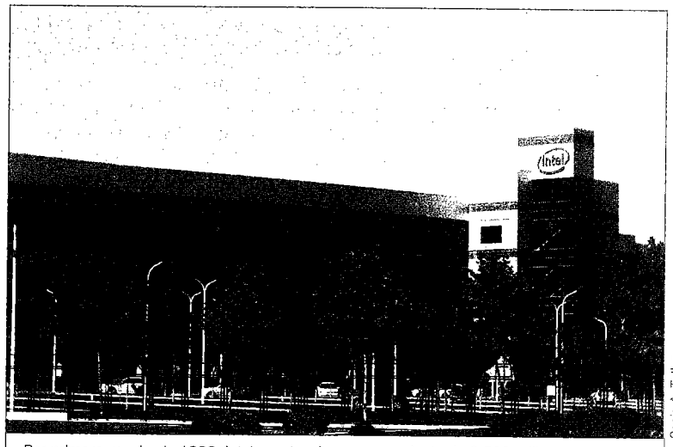
Los planes de capacidad a largo plazo manejan inversiones en nuevas instalaciones y equipo a nivel organizacional y requieren la participación y aprobación de la alta administración porque no son reversibles. Estos planes cubren por lo menos dos años, en el futuro, pero los tiempos de entrega de la construcción pueden ser más largos y el resultado ser un horizonte de planeación más lejano.

Como se vio en la viñeta de apertura, la planeación de capacidad a largo plazo es central para el éxito de una organización. Demasiada capacidad suele ser tan agonizante como insuficiente. Con frecuencia, la industria completa puede fluctuar con el tiempo entre demasiada y muy poca capacidad, como es evidente en la industria de líneas aéreas y cruceros durante los últimos 20 años. Cuando se elige una estrategia de capacidad, los administradores deben considerar preguntas como: ¿cuántos amortiguadores se necesitan para manejar una demanda variable o incierta? y ¿debemos expandir la capacidad adelantando la demanda o esperar hasta que la demanda sea más cierta? Aun antes de poder responder estas preguntas, un administrador debe poder medir la capacidad de un proceso. De modo que se requiere un enfoque sistemático para responder estas preguntas y otras similares y desarrollar la estrategia de capacidad apropiada para cada situación.

Medición de la capacidad y la utilización

No hay una medida de capacidad que sea la mejor para todas las situaciones. Una tienda mide la capacidad como los dólares de ventas anuales generados por pie cuadrado, mientras que una línea aérea mide la capacidad como las millas-asiento disponibles por mes. Un teatro mide la capacidad como el número de asientos, mientras que un taller mide la capacidad como el número de horas-máquina. En general, la capacidad puede expresarse en una de dos maneras: en términos de medidas de salida o de medidas de entrada.

Medidas de salida para la capacidad Las *medidas de salida* de la capacidad se utilizan mejor cuando se aplican a procesos individuales dentro de la empresa o cuando la empresa proporciona un número relativamente pequeño de servicios y productos estandarizados. Los procesos de alto volumen, como los de una planta de ensamblaje de automóviles, son un buen ejemplo. En este caso, la capacidad se mediría en términos del número de automóviles producidos por día. Sin embargo, muchos procesos producen más de un servicio o producto. Conforme aumenta la cantidad de personalización y variedad en la mezcla de producto, las medidas de capacidad en términos de salida se vuelven menos útiles. Entonces, las medidas de capacidad de entrada son la elección usual para medir la capacidad.



Sonia A. Tellez

Por primera vez desde 1992, Intel construyó una nueva planta de 2,500 millones para la fabricación de chips en el nuevo distrito Jinzhou al norte de la ciudad portuaria de Dalian. Con más de 1,700 empleados, cubre un área de 163,000 metros cuadrados, que es más o menos lo mismo que 23 canchas de futbol soccer. Iniciada en septiembre de 2007, la planta comenzó la producción en octubre de 2010, con obleas integradas de 300 milímetros y juegos de chips para laptops, PC de escritorio de alto desempeño y servidores poderosos.

Medidas de entrada para la capacidad Las *medidas de entrada* se usan generalmente para bajo volumen, procesos flexibles como los asociados con un fabricante de muebles a la medida. En este caso, el fabricante tal vez mida su capacidad en términos de entradas como el número de estaciones de trabajo o el número de trabajadores. El problema con las medidas de entradas es que la demanda se expresa invariablemente como una tasa de salida. Si el fabricante quiere estar al día

con la demanda, debe convertir el requerimiento anual de muebles en horas de mano de obra y el número de empleados requerido para llenar esas horas. Se explicará cómo se hace esta conversión entrada-salida más adelante en este capítulo.

utilización
Grado en el que se usan equipo, espacio o fuerza de trabajo y se mide como la razón de la tasa promedio de salida entre la capacidad máxima (expresada como porcentaje).

Utilización La **utilización** es el grado en el que un recurso como equipo, espacio o fuerza de trabajo se está usando y se mide como la razón de la tasa de salida promedio a la capacidad máxima (expresada como porcentaje). La tasa de salida promedio y la capacidad deben medirse en los mismos términos; es decir, tiempo, clientes, unidades o dinero. La tasa de utilización indica la necesidad de agregar capacidad adicional o de eliminar capacidad innecesaria.

$$\text{Utilización} = \frac{\text{tasa de salida promedio}}{\text{capacidad máxima}} \times 100\%$$

Aquí nos referimos a la capacidad máxima como el nivel más alto de salida que un proceso puede sostener razonablemente por un periodo largo, usando una programación realista para el trabajo de los empleados y el equipo que ya están asignados. En algunos procesos, este nivel de capacidad implica una operación de un turno; en otros, implica la operación de tres turnos. Un proceso se opera arriba de su nivel de capacidad con métodos marginales de producción, como tiempo extra, turnos adicionales, reducción temporal de las actividades de mantenimiento, personal adicional y subcontratación. Aunque ayudan con picos temporales, estas opciones no logran sostenerse mucho tiempo. Por ejemplo, poder manejar 40 clientes una semana pico es muy diferente a mantener esto por seis meses. Los empleados no quieren trabajar horas extra por periodos extendidos, de modo que la calidad baja. Además, el tiempo extra hace que se incrementen los costos para la empresa. De manera que el resultado de operar los procesos cerca (o incluso temporalmente arriba) de su capacidad máxima puede provocar baja satisfacción del cliente, ganancias mínimas o pérdidas, a pesar de los altos niveles de ventas. Ese fue el caso de los fabricantes de aviones a finales de los 80, que culminó en la compra de McDonnell Douglas por Boeing en 1977 para detener la elevación de costos y la caída de las ganancias.

Economías de escala

economía de escala
Concepto que establece que el costo unitario promedio de un servicio o producto se puede reducir si se incrementa la tasa de salida.

Decidir el mejor nivel de capacidad incluye considerar la eficiencia en las operaciones. Un concepto conocido como **economía de escala** establece que el costo unitario promedio de un servicio o bien se puede reducir incrementando su tasa de salida. Cuatro razones principales explican por qué las economías de escala buscan impulsar menores costos cuando la salida aumenta: **1.** los costos fijos se prorratean entre más unidades, **2.** los costos de construcción se reducen, **3.** los costos de materiales comprados disminuyen y **4.** existen ventajas para los procesos.

Costos fijos prorrateados En el corto plazo, ciertos costos no varían con los cambios en la tasa de salida. Estos costos fijos incluyen costos de calefacción, servicio de deuda y salarios de los administrativos. La depreciación de la planta y del equipo también es un costo fijo en el sentido contable. Cuando la tasa de salida promedio —y por tanto, la tasa de utilización de la instalación— aumenta, el costo por unidad promedio baja porque los costos fijos se prorratean entre más unidades.

Reducción de costos de construcción Ciertas actividades y gastos se requieren por igual para construir grandes o pequeñas instalaciones: permisos de construcción, honorarios de arquitectos y renta de equipo para la construcción. Duplicar el tamaño de una instalación no suele duplicar los costos de construcción.

Reducción de costos de materiales comprados Los volúmenes más altos pueden reducir los costos de compra de materiales y servicios. Dan al comprador mejor posición para negociar y la oportunidad de aprovechar la ventaja de descuentos por cantidad. Las tiendas como Walmart logran economías de escala significativas porque sus tiendas nacionales e internacionales compran y venden cantidades enormes de cada artículo.

Se encuentran ventajas del proceso Los altos volúmenes de producción proporcionan muchas oportunidades para reducir costos. Con una tasa de salida mayor, el proceso cambia hacia una línea de producción, con recursos dedicados a los productos individuales. Las empresas pueden justificar los gastos en tecnología más eficiente o equipo más especializado. Los beneficios de dedicar recursos a servicios o productos individuales incluyen acelerar el efecto del aprendizaje, disminuir inventarios, mejorar el diseño del trabajo y reducir el número de cambios en la producción.

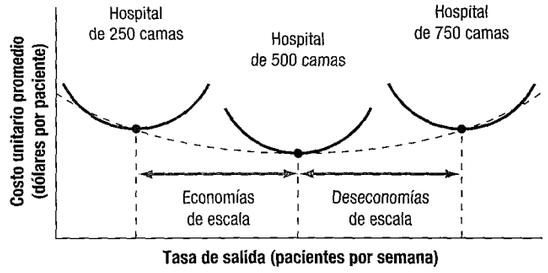
Deseconomías de escala

deseconomías de escala
Ocurre cuando el costo promedio por unidad aumenta conforme crece el tamaño de la instalación.

Más grande no siempre es mejor. En algún punto, una instalación se vuelve tan grande que se establecen las **deseconomías de escala**; esto es, el costo promedio por unidad aumenta cuando el tamaño de la instalación crece. La razón es que un tamaño excesivo puede acarrear complejidad, pérdida de enfoque e ineficiencias que elevan el costo promedio por unidad de un servicio o producto. Demasiados empleados y burocracia suelen ocasionar que la administración pierda contacto con los empleados y clientes. Una organización menos ágil pierde la flexibilidad necesaria para responder a los cambios

en la demanda. Muchas compañías grandes se involucran tanto en el análisis y la planeación, que la innovación es menor y evitan riesgos. El resultado es que las pequeñas compañías tienen mejor desempeño que los gigantes corporativos en numerosas industrias.

La figura 6.1 ilustra la transición de las economías de escala a deseconomías de escala. Un hospital de 500 camas muestra economías de escala porque el costo unitario en su *mejor nivel de operación*, representado por el punto negro, es menor que el del hospital de 250 camas. Sin embargo, suponiendo que existe suficiente demanda, una expansión a 750 camas lleva a costos más altos y a deseconomías de escala. Una razón de que el hospital de 500 camas tiene mayores economías de escala que el de 250 camas es que el costo del edificio y el equipo es menor que el doble del costo para el hospital más pequeño. La instalación de 750 camas tendrá ahorros similares. Sus costos unitarios promedio se explican solo por deseconomías de escala, que sobrepasan los ahorros logrados en costos de construcción.



▲ **FIGURA 6.1**
Economías y deseconomías de escala

La figura 6.1 no significa que el tamaño óptimo para todos los hospitales es 500 camas. El tamaño óptimo depende del número de pacientes que se atiende por semana. Por un lado, un hospital que sirve a una pequeña comunidad tendría costos menores eligiendo una capacidad de 250 camas en lugar de una de 500. Por otro lado, una comunidad grande puede ser atendida con mayor eficiencia con dos hospitales de 500 camas que con uno de 1,000 camas, si existen deseconomías de escala en el tamaño más grande.

Estrategias de tiempo y tamaño de la capacidad

Los administradores de operaciones deben examinar tres dimensiones de estrategia de capacidad antes de tomar decisiones sobre ella: **1.** tamaño del amortiguador de capacidad, **2.** expansión de tamaño y el tiempo para hacerlo y **3.** vinculación de la capacidad del proceso con otras decisiones operacionales.

Tamaño de los amortiguadores de la capacidad

Las tasas de utilización promedio para cualquier recurso no deben acercase mucho a 100% en el largo plazo, aunque puede ocurrir para algún proceso de vez en cuando en el corto plazo. Si la demanda sigue creciendo con el tiempo, entonces la capacidad a largo plazo también debe aumentar para proporcionar algún amortiguador contra las incertidumbres. Cuando las tasas de utilización promedio se acercan a 100%, usualmente es una señal para aumentar la capacidad o disminuir la aceptación, para evitar que la productividad decline. El **amortiguador de capacidad** es la cantidad de capacidad reservada que un proceso utiliza para manejar incrementos repentinos en la demanda o pérdidas temporales en la capacidad de producción; mide la cantidad en la que la utilización promedio (en términos de capacidad total) es menor que 100%. En particular,

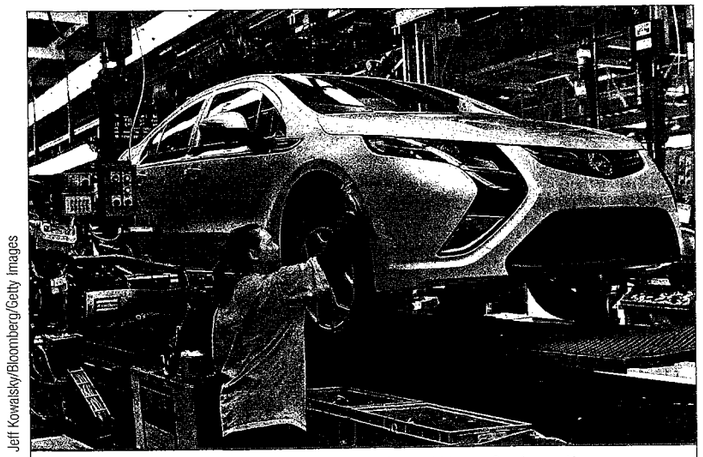
amortiguador de capacidad
Cantidad de capacidad de reserva que utiliza un proceso para manejar aumentos repentinos en la demanda o pérdidas temporales de capacidad de producción. Mide la cantidad en la que la utilización promedio (en términos de capacidad total) está abajo de 100 por ciento.

$$\text{Amortiguador de capacidad} = 100\% - \text{tasa de utilización promedio (\%)}$$

El tamaño adecuado del amortiguador varía por industria. En la industria del papel, más intensa en capital, donde las máquinas pueden costar cientos de millones de dólares cada una, se prefieren amortiguadores por debajo de 10%. La industria hotelera, menos intensa en capital, tiene su punto de equilibrio con 60 o 70% de utilización (40 o 30% de amortiguador), y comienza a sufrir problemas de servicio a clientes cuando el amortiguador baja a 20%. La industria de cruceros más intensa en capital prefiere amortiguadores tan pequeños como 5%. Los amortiguadores grandes son vitales, en particular para procesos de mostrador, donde los clientes esperan tiempos de servicio rápidos.

Los negocios encuentran apropiado tener un amortiguador grande cuando la demanda varía. En ciertas industrias de servicio (como la de abarrotes), el hecho de que la demanda sea más alta algunos días de la semana que otros es algo predecible, incluso los cambios de una hora a otra son típicos. Las largas líneas de espera para los clientes no son aceptables porque los clientes se impacientan si tienen que esperar en la caja de un supermercado más de unos cuantos minutos. El servicio rápido para los clientes requiere que el supermercado mantenga un amortiguador de capacidad suficientemente grande para manejar la demanda pico. Los amortiguadores grandes son necesarios cuando la demanda futura es incierta, en particular si la flexibilidad del recurso es baja. La simulación y el análisis de líneas de espera (vea el suplemento B, "Líneas de espera") ayuda al administrador a anticipar mejor la relación entre amortiguador de capacidad y servicio al cliente.

Otro tipo de demanda incierta ocurre con una mezcla de productos que cambia. Aunque la demanda total medida en términos monetarios sea estable, la carga puede cambiar de manera impredecible de una estación de trabajo a otra según cambie la mezcla de productos. La incertidumbre en el suministro inherente a la entrega de materiales comprados también hace que los amortiguadores grandes sean útiles. La capacidad, con frecuencia, llega en incrementos grandes porque deben comprarse máquinas completas, aun cuando solo se necesita una fracción de su capacidad disponible, que a su vez crea un amortiguador grande. Las empresas también requieren construir capacidad en exceso para permitir el ausentismo de empleados, vacaciones y otros retrasos. Si una



Jeff Kowalsky/Bloomberg/Getty Images

Dawn Bacon trabaja en un Opel Ampera 2012 de General Motors Co., la versión europea de Volt, en Detroit-Hamtramck Assembly Plant en Detroit, Michigan, U.S. GM invertirá $69 millones y creará 2,500 empleos para comenzar dos nuevos modelos en la planta de Detroit que ensambla el Chevrolet Volt, modelo híbrido como una acción del fabricante de automóviles para impulsar su producción en Estados Unidos.

empresa experimenta altos costos de tiempo extra y a menudo tiene que depender de contratistas, tal vez deba incrementar sus amortiguadores de capacidad.

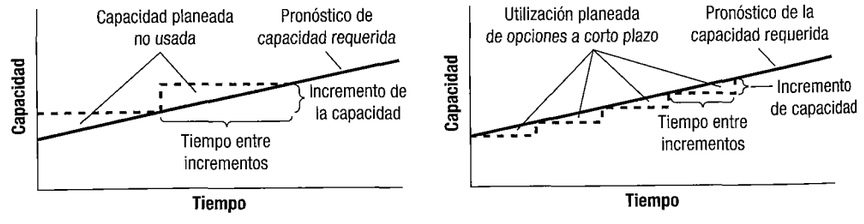
El argumento en favor de amortiguadores pequeños es sencillo: la capacidad no utilizada cuesta dinero. Para empresas de capital intensivo, minimizar el amortiguador de capacidad es vital. Los estudios indican que los negocios intensos en capital logran un rendimiento bajo sobre la inversión cuando los amortiguadores son grandes. Sin embargo, esta fuerte correlación no existe para las empresas intensas en mano de obra. Su rendimiento sobre la inversión es casi el mismo porque la inversión menor en equipo hace que la alta utilización sea menos crítica. Los amortiguadores pequeños tienen otras ventajas. Al implementar un amortiguador pequeño, una compañía algunas veces puede descubrir ineficiencias difíciles de detectar con amortiguadores más grandes. Estas ineficiencias incluyen ausentismo de empleados o proveedores no confiables. Una vez que administradores y trabajadores identifican estos problemas, quizás encuentren formas de corregirlos.

Tiempo y tamaño para la expansión

El segundo aspecto de la estrategia de capacidad se refiere a cuándo y en qué medida ajustar los niveles de capacidad. Algunas veces, la expansión de capacidad se puede hacer en respuesta a las tendencias cambiantes del mercado. General Motors decidió aumentar la capacidad de producción del coche híbrido Chevrolet Volt de cuatro asientos, de 30,000 a 45,000 unidades en 2012 debido al fuerte interés del público. Mientras que manejamos este aspecto desde la perspectiva de la expansión de la capacidad con más detalle, debe observar que las empresas no siempre piensan en expandir su capacidad; algunas veces pueden estar forzadas a replegarse, como fue evidente en la situación de la industria de líneas aéreas, donde todas la líneas importantes han consolidado rutas y reducido el número total de vuelos ante los crecientes costos del petróleo. Parte de esta consolidación se logró mediante fusiones como la de United Airlines y Continental para crear la compañía aérea más grande del mundo, al igual que la de Delta y Northwest Airlines.

La figura 6.2 ilustra dos estrategias extremas para expandir la capacidad: la *estrategia expansionista*, que involucra saltos grandes, poco frecuentes en capacidad y la *estrategia espera y ve qué pasa*, que incluye saltos más pequeños y frecuentes.

FIGURA 6.2 ▶
Dos estrategias de capacidad



a) Estrategia expansionista

b) Estrategia de espera y ve qué pasa

El tiempo y tamaño de una expansión están relacionados; es decir, si la demanda va en aumento y el tiempo entre incrementos aumenta, el tamaño de los incrementos también debe aumentar. La estrategia expansionista, que va delante de la demanda, minimiza la oportunidad de ventas perdidas por capacidad insuficiente. La estrategia de espera y ve qué pasa va detrás de la demanda. Para cumplir con los faltantes, depende de opciones a corto plazo, como horas extra, trabajadores temporales, subcontratación, desabastos y posponer el mantenimiento preventivo del equipo.

Varios factores favorecen la estrategia expansionista. La expansión puede llevar a economías de escala y una tasa más rápida de aprendizaje, ayudando a la empresa a reducir sus costos y competir en precio. Esta estrategia puede aumentar el porcentaje de mercado o actuar como una forma de marketing preferencial. Al hacer una expansión de capacidad grande o anunciar que tal expansión está en camino, la empresa abatiría la expansión de otras empresas. Estas otras empresas deben sacrificar parte de su porcentaje de mercado o arriesgarse a inundar la industria con capacidad de sobra. Sin embargo, para tener éxito la empresa con preferencia debe tener la credibilidad para convencer a la competencia de que llevará a cabo sus planes y debe anunciarlos antes de que la competencia pueda actuar. La práctica administrativa 6.1 ilustra el uso de la estrategia de expansión en la industria del etanol.

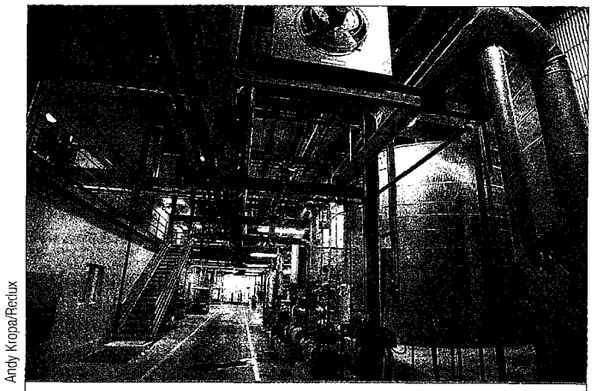
PRÁCTICA ADMINISTRATIVA 6.1 Estrategia de capacidad expansionista en la industria del etanol

Una búsqueda de energía renovable y de fuentes alternativas de combustible ha hecho de la producción de etanol una industria de gran crecimiento en Estados Unidos. Solo el estado de Nebraska tiene inversiones de capital de más de $5 mil millones en cuatro plantas de etanol, que juntas producen más de 2 mil millones de galones de etanol cada año. Aunque Nebraska surte los mercados de etanol en el oeste de Estados Unidos, los estados del medio oeste, como Iowa, tienen la inversión en capacidad más grande. Muchas de estas iniciaron sus operaciones en 2007.

Pero en el horizonte puede haber señales de preocupación. Las compañías y las cooperativas agrícolas han construido destilerías con tanta rapidez que el mercado de etanol de pronto está plagado por una sobreoferta que está agregando presión para que el precio baje. Al mismo tiempo, la escasez y el precio de la materia prima necesaria para alimentar las plantas de etanol se convierte en algo que tomar en cuenta. Un bushel de maíz produce aproximadamente 2.6 galones de etanol y las plantas de etanol en el estado de Nebraska requieren 769 millones de bushels de grano para el proceso anual. Como resultado, el precio del maíz se elevó de manera constante de menos de $2 por bushel en 2006 a $7.76 por bushel en abril de 2011. El precio por bushel se duplicó en un año entre 2010 y 2011, aunque se espera que baje en el futuro, cuando se plante más maíz y las reservas suban debido a menos exportaciones. Estos incrementos de precios han erosionado la rentabilidad. A pesar del fuerte incremento en los precios del petróleo crudo, la demanda de etanol no ha aumentado proporcionalmente porque es menos eficiente y constituye 10% o menos de la mayoría de las mezclas de gasolinas.

La capacidad también fue expandida sin considerar las necesidades de transporte del etanol. A diferencia de la gasolina, no se pueden usar tuberías tradicionales porque el etanol es corrosivo y contiene rastros de agua. Entonces, debe transportarse en carros de ferrocarril, camiones y barcazas especializadas para etanol. La capacidad de esa red de transporte no ha seguido el paso al superávit de producción de etanol. En consecuencia, la demanda de etanol a lo largo de las regiones costeras del país no logra satisfacerse con la rapidez y eficiencia desde las regiones de Com Belt donde se encuentran las plantas de etanol.

Aunque los subsidios del gobierno pueden mantener el crecimiento de la producción de etanol, los expertos creen que la expansión de la industria ha sido mal administrada. Algunas compañías están modificando sus planes futuros y cancelando la construcción de nuevas plantas por el temor de la consolidación y la salida del negocio.



Andy Kropa/Redux

La planta de Lincolnway Energy, una destilería mediana en Nevada, Iowa, convierte maíz en etanol en un proceso casi automatizado. Lincolnway Energy estaba virtualmente sola en la región. Hoy, las destilerías de la competencia están en operación y llenan aún más el mercado de etanol.

Fuente: Clifford Krauss, "Ethanol's Boom Stalling as Glut Depresses Price", *New York Times* (30 de septiembre, 2007); Christopher Leonard, "Corn Reserves Expected to Rise, Easing Food Prices", *The Associated Press*, 12 de mayo, 2011; Nebraska Ethanol Board, "Ethanol Plants in Nebraska", **http://www.ne-ethanol.org/industry/ethplants.htm** (31 de mayo, 2011).

La estrategia conservadora de esperar y ver consiste en expandir en pequeños incrementos, como cuando se renuevan las instalaciones existentes, reduce el riesgo de una expansión mayor que la necesaria basada en pronósticos de demanda demasiado optimistas, tecnología obsoleta o suposiciones imprecisas respecto a la competencia.

Sin embargo, esta estrategia tiene sus propios riesgos, como rezagarse porque la competencia se adelantó o no poder responder si la demanda es inesperadamente alta. Los críticos aseguran que la estrategia de esperar y ver es una estrategia típica de algunos estilos de administración en Estados Unidos. Los administradores en la rápida escalera corporativa tienden a tomar menos riesgos. Obtienen sus promociones evitando grandes errores y maximizando sus ganancias y rendimiento sobre la inversión a corto plazo. La estrategia de esperar y ver se ajusta a su panorama a corto plazo, pero a la larga puede erosionar el porcentaje de mercado.

La administración elige una de estas estrategias o una de muchas entre estos extremos. Con las estrategias en un centro más moderado, las empresas se pueden expandir con más frecuencia (en una escala menor) que con la estrategia expansionista sin rezagarse respecto a la demanda como con la estrategia de esperar y ver. Una estrategia intermedia sería *sigue al líder*, expandirse cuando otros los hacen. Si otros están bien, usted también, y nadie gana una ventaja competitiva. Si otros cometen un error y se expanden más de lo que deben, también usted puede hacerlo, pero todos compartirán la agonía de la capacidad excedida. Esta situación se observó en la industria de las líneas aéreas y todavía podría ocurrir en la de LCD, debido a las expansiones de gran capacidad de Sharp, Sony y Samsung, como se describió en la viñeta de apertura del capítulo.

Relación de las decisiones de capacidad con otras disposiciones

Las decisiones de capacidad deben tener una relación estrecha con los procesos y las cadenas de suministro en toda la organización. Cuando los administradores toman decisiones acerca de diseñar procesos, determinar el grado de flexibilidad de recursos e inventarios y localización

de instalaciones, deben considerar su impacto sobre los amortiguadores de la capacidad. Los amortiguadores de la capacidad en el largo plazo defienden a la organización contra la incertidumbre en el largo plazo, como lo hacen la flexibilidad de recursos, el inventario y los tiempos más largos de entrega al cliente. Si se hace un cambio en cualquier área de decisión, es posible que también el amortiguador de capacidad deba cambiar para compensar. Por ejemplo, los amortiguadores de capacidad para un proceso pueden ser menores si se hace menos hincapié en la entrega rápida (*prioridades competitivas*), menores pérdidas de producción (*calidad*) o si la inversión en equipo de capital intenso crece o la flexibilidad del trabajador aumenta (*diseño de procesos*). Los amortiguadores de capacidad también disminuirían si la compañía está dispuesta a suavizar la tasa de salida elevando los precios cuando el inventario está bajo y disminuyendo los precios cuando está alto.

Enfoque sistemático para las decisiones de capacidad a largo plazo

Las decisiones a largo plazo para la capacidad típicamente incluyen agregar o no una nueva planta o almacén, o bien, reducir el número de los existentes, cuántas estaciones de trabajo debe tener un departamento o cuántos trabajadores se necesitan para un proceso dado. Algunas de estas decisiones pueden tomar años para estar en operación. Entonces se necesita un enfoque sistemático para planear las decisiones de capacidad a largo plazo.

Aunque cada situación es algo diferente, un procedimiento de cuatro pasos puede ayudar a los administradores a tomar decisiones de capacidad adecuadas (al describir este procedimiento, suponemos que la administración ya realizó los pasos preliminares para determinar la capacidad existente del proceso y evaluar si su amortiguador de capacidad actual es apropiado).

1. Estimar los requerimientos futuros de capacidad.
2. Identificar diferencias comparando los requerimientos con la capacidad disponible.
3. Desarrollar planes alternativos para reducir las diferencias.
4. Evaluar cada alternativa, cualitativa y cuantitativamente, y hacer la elección final.

Paso 1: estimar los requerimientos de capacidad

requerimiento de capacidad
Capacidad del proceso que debe tenerse en algún periodo futuro para satisfacer la demanda de los clientes (externos o internos), dado el amortiguador de capacidad deseado por la empresa.

horizonte de planeación
Conjunto de periodos consecutivos considerados para propósitos de planeación.

El **requerimiento de capacidad** de un proceso es la capacidad que debe tenerse en algún periodo futuro para satisfacer la demanda de los clientes (externos o internos), dado el amortiguador de capacidad deseado por la empresa. Los requerimientos más grandes son prácticos para procesos o estaciones de trabajo, que potencialmente pueden ser cuellos de botella en el futuro y la administración incluso planearía amortiguadores más grandes que lo normal.

Los requerimientos de capacidad se pueden expresar en una de dos maneras: con una medida de salida o con una medida de entrada. De cualquier manera, el fundamento para la estimación es pronósticos de demanda, productividad, competencia y cambio tecnológico. Estos pronósticos, en general se hacen para varios periodos en un **horizonte de planeación**, que es el conjunto de periodos consecutivos considerados para propósitos de planeación. Los planes de capacidad a largo plazo deben considerar más el futuro (quizá toda una década) que los planes a corto plazo. Desafortunadamente, cuanto más lejos se vea, más oportunidad existe de obtener un pronóstico inexacto.

Uso de medidas de salida La manera más sencilla de expresar los requerimientos de capacidad es una tasa de salida. Como se vio, las medidas de salida son apropiadas para procesos de alto volumen con poca variedad de procesos o divergencia de procesos. Aquí, los pronósticos de demanda para años futuros se usan como base para extrapolar los requerimientos de capacidad en el futuro. Si se espera que la demanda se duplique en los siguientes cinco años, entonces la capacidad requerida también se duplica. Por ejemplo, si la demanda actual del proceso es 50 clientes por día, entonces la demanda en cinco años será 100 clientes por día. Si el amortiguador de capacidad deseado es 20%, la administración debe planear suficiente capacidad para servir [100/(1 – 0.2)] = 125 clientes por día en cinco años.

Uso de medidas de entrada Las medidas de salida pueden ser insuficientes en las siguientes situaciones:

- Variedad de producto y divergencia de procesos altas.
- El producto o mezcla de servicio está cambiando.
- Se espera que las tasas de productividad cambien.
- Se esperan efectos de aprendizaje significativos.

En esos casos, es más adecuado calcular los requerimientos de capacidad con una medida de entrada, como el número de empleados, máquinas, computadoras o camiones. La utilización de una medida de entrada para el requerimiento de capacidad reúne los pronósticos de demanda,

las estimaciones de tiempo del proceso y el amortiguador de capacidad deseado. Cuando solo se procesa un servicio o producto en una operación y el periodo es un año en particular, el requerimiento de capacidad, M, es:

$$\text{Requerimiento de capacidad} = \frac{\text{horas de proceso requeridas para la demanda de un año}}{\text{horas disponibles en una sola unidad de capacidad (como empleado o máquina) por año, después de deducir el amortiguador deseado}}$$

$$M = \frac{Dp}{N[1 - (C/100)]}$$

donde:

D = pronóstico de demanda (número de clientes servidos o unidades producidas)
p = tiempo de procesado (en horas por cliente servido o unidad producida)
N = número total de horas por año durante las cuales opera el proceso
C = amortiguador de capacidad deseado (expresado como porcentaje)

M es el número de unidades de entrada requeridas y debe calcularse por cada año en el horizonte de tiempo. El tiempo de procesamiento, p, depende del proceso y los métodos seleccionados para hacer el trabajo. El denominador es el número total de horas, N, disponibles para el año de una unidad de capacidad (un empleado o una máquina), multiplicado por una proporción que incluye la capacidad deseada para el amortiguador, C. La proporción es simplemente $1.0 - C/100$, donde C es una forma convertida del porcentaje a la proporción al dividirla entre 100. Por ejemplo, una capacidad de de amortiguamiento de 20% significa $1.0 - C/100 = 0.80$.

tiempo de preparación
Tiempo requerido para cambiar un proceso u operación de hacer un servicio o producto a hacer otro.

Las preparaciones pueden ser parte de múltiples productos que se fabrican. El **tiempo de preparación** es el tiempo requerido para cambiar un proceso o una operación de hacer un servicio o producto a hacer otro. El tiempo total de preparación se encuentra dividiendo el número de unidades pronosticadas por año, D, por el número de unidades en cada lote, Q (número de unidades procesadas entre preparaciones) que da el número de preparaciones por año, y luego multiplicando por el tiempo que toma cada reparación, s. Por ejemplo, si la demanda anual es 1,200 unidades y el tamaño del lote promedio es 100, hay 1,200/100 = 12 preparaciones por año. Tomando en cuenta ambos tiempos, procesamiento y preparación, para múltiples servicios (productos), se obtiene:

$$\text{Requerimiento de capacidad} = \frac{\text{horas requeridas de procesamiento y preparación para la demanda anual, sumadas para todos los servicios o productos}}{\text{horas disponibles de una sola unidad de capacidad por año, después de deducir el amortiguador deseado}}$$

$$M = \frac{[Dp + (D/Q)s]_{\text{producto 1}} + [Dp + (D/Q)s]_{\text{producto 2}} + \cdots + [Dp + (D/Q)s]_{\text{producto } n}}{N[1 - (C/100)]}$$

donde:

Q = número de unidades en cada lote
s = tiempo de preparación (en horas) por lote

Qué hacer cuando M no es un entero y depende de la situación. Por ejemplo, es imposible comprar una fracción de una máquina. En este caso, se redondea hacia arriba la parte fraccional; pero si es eficiente en costos, utilizar opciones a corto plazo, como tiempo extra o desabastecimiento, para cubrir los faltantes. Si, por otro lado, la unidad de capacidad es el número de empleados en un proceso, puede lograrse un valor digamos de 23.6 usando solo 23 empleados y un modesto tiempo extra (equivalente a tener 60% de otra persona de tiempo completo). Aquí, el valor fraccional debe retenerse como información útil.

EJEMPLO 6.1 **Estimación de requerimientos de capacidad con medidas de entrada**

Un centro de copiado en un edificio de oficinas prepara reportes encuadernados para dos clientes. El centro hace múltiples copias (tamaños de lote) de cada reporte. El tiempo del proceso para copiar, compaginar y encuadernar cada copia depende, entre otros factores, del número de páginas. El centro opera 250 días por año, con un turno de ocho horas. La administración piensa que un amortiguador de 15% (además de las tolerancias integradas en los tiempos estándar) es lo mejor. Por ahora tiene tres copiadoras. Con base en la información de la siguiente tabla, determine cuántas máquinas se necesitan en el centro de copiado.

Artículo	Cliente X	Cliente Y
Pronóstico de demanda anual (copias)	2,000	6,000
Tiempo estándar del proceso (horas/copia)	0.5	0.7
Tamaño de lote promedio (copias por reporte)	20	30
Tiempo estándar de preparación (horas)	0.25	0.40

SOLUCIÓN

$$M = \frac{[Dp + (D/Q)s]_{\text{producto 1}} + [Dp + (D/Q)s]_{\text{producto 2}} + \cdots + [Dp + (D/Q)s]_{\text{producto } n}}{N[1 - (C/100)]}$$

$$= \frac{[2{,}000(0.5) + (2{,}000/20)(25)]_{\text{cliente X}} + [6{,}000(0.7) + (6{,}000/30)(0.40)]_{\text{cliente Y}}}{[250 \text{ día/año})(1 \text{ turno/día})(8 \text{ horas/día})][1.0 - (15/100)]}$$

$$= \frac{5{,}305}{1{,}700} = 3.12$$

Redondeando al siguiente entero se tiene un requerimiento de cuatro máquinas.

PUNTO DE DECISIÓN

La capacidad del centro de copiado se está extendiendo y ya no se necesita el amortiguador deseado de 15% de la capacidad con las tres máquinas existentes. Al no querer que el servicio al cliente sufra, la administración decide utilizar tiempo extra como una solución a corto plazo para manejar las órdenes atrasadas. Si la demanda continúa al nivel actual o crece, adquirirá una cuarta máquina.

Paso 2: identificar diferencias

diferencia de capacidad

Una diferencia positiva o negativa entre la demanda proyectada y la capacidad actual.

Una **diferencia de capacidad** es cualquier discrepancia (positiva o negativa) entre los requerimientos de capacidad proyectados (M) y la capacidad actual. Surgen complicaciones cuando se tiene múltiples operaciones y varias entradas de recursos. Expandir la capacidad de algunas operaciones puede aumentar la capacidad global. Sin embargo, como se verá en el capítulo 7, "Administración de restricciones", si una operación está más restringida que otras, la capacidad total del proceso se expandirá solo si se incrementa la capacidad de las operaciones restringidas.

Paso 3: desarrollar alternativas

caso base

Acto de no hacer nada y perder órdenes de cualquier demanda que excede la capacidad actual o incurrir en costos debido a que la capacidad es demasiado grande.

El siguiente paso es desarrollar planes alternativos para lidiar con las diferencias proyectadas. Una alternativa, llamada **caso base**, es hacer nada y sencillamente perder los pedidos que excedan la capacidad actual o incurran en costos debido a una capacidad demasiado grande. En otras alternativas, si la demanda esperada excede la capacidad actual son necesarias varias opciones de tiempo y tamaño (cuándo y cuánto) para agregar capacidad nueva, incluyendo las estrategias expansionistas y de esperar y ver ilustradas en la figura 6.2. Las posibilidades adicionales incluyen expandirse en diferentes localizaciones y usar opciones a corto plazo, como tiempo extra, trabajadores temporales y subcontratación. Las alternativas para reducir la capacidad incluyen cierre de plantas o almacenes, despedir empleados o reducir días u horas de operación.

Paso 4: evaluar las alternativas

En este paso final, el administrador evalúa cada alternativa, cualitativa y cuantitativamente.

Inquietudes cualitativas De modo cualitativo, el administrador ve cómo se ajusta cada alternativa a la estrategia de capacidad global y otros aspectos del negocio no cubiertos por el análisis financiero. De particular preocupación suelen ser las incertidumbres de la demanda, la reacción competitiva, el cambio tecnológico y las estimaciones de costos. Algunos de estos factores no pueden cuantificarse y deben evaluarse sobre la base del juicio y la experiencia. Mientras que otros pueden cuantificarse y el administrador logra analizar cada alternativa utilizando distintas suposiciones acerca del futuro. Un conjunto de estas suposiciones representa un peor caso, en el que la demanda es menor, la competencia es mayor y los costos de construcción son más altos de lo esperado. Otro conjunto de suposiciones podría representar el punto de vista más optimista del futuro. Este tipo de análisis "qué pasa si" permite al administrador tener una idea de las implicaciones de cada alternativa antes de hacer su elección final.

Los factores cualitativos tenderán a dominar cuando el negocio está tratando de entrar a nuevos mercados o de cambiar su enfoque de estrategia de negocios. Por ejemplo, Dell está planeando una inversión de mil millones en computación "en la nube" (proporcionar sobre demanda recursos computacionales para datos y software a través de redes de cómputo, en lugar de en computadoras locales) y virtualización (crear una versión virtual, en lugar de real de un sistema operativo o un dispositivo de almacenamiento). Es posible que dispusiera de pocos datos duros para guiarla en cuanto al tamaño exacto y el momento de la expansión significativa de la capacidad del centro de datos que debe emprenderse para apoyar esta estrategia de diversificación, que también incluyó un enfoque más profundo en capacitación de ventas y habilidades.

Yan Sheng - CNImaging/Newscom

El Centro de datos de Dell, para proteger el ambiente y ahorrar energía, va a monitorear el índice de consumo de energía de 54 oficinas de gobierno en Beijing, China.

Inquietudes cuantitativas El administrador estima de manera cuantitativa el cambio en los flujos de efectivo para cada alternativa durante el horizonte del pronóstico comparado con el caso base. El **flujo de efectivo** es la diferencia entre los flujos de fondos que entran y salen de una organización en un periodo, incluyendo ingresos, costos y cambios en activos y pasivos. El administrador se preocupa en este caso solo de los flujos de efectivo atribuibles al proyecto.

flujo de efectivo

Diferencia entre los flujos de fondos que entran y salen de una organización durante un periodo, incluyendo ingresos, costos y cambios en activos y pasivos.

EJEMPLO 6.2 Evaluación de alternativas

Grandmother's Chicken Restaurant experimenta un auge en el negocio. La dueña espera servir 80,000 comidas este año. Aunque la cocina opera al 100% de su capacidad, el comedor puede manejar 105,000 comensales por año. El pronóstico de demanda para los siguientes cinco años es: 90,000 comidas el próximo año, seguido de un incremento de 10,000 comidas cada uno de los siguientes años. Una alternativa es expandir tanto la cocina como el comedor para tener capacidades hasta de 130,000 comidas al año. La inversión inicial sería $200,000 al final de este año (año 0). La comida promedio tiene un precio de $10 y el margen de utilidad antes de impuestos es de 20%. Se llegó a la cifra de 20% al determinar que, por cada comida de $10, $8 cubren los costos variables y el resto va a ganancias antes de impuestos.

¿Cuáles son los flujos de efectivo de este proyecto para los siguientes cinco años comparados con los del caso base de no hacer nada?

SOLUCIÓN

Recuerde que el resultado del caso base de hacer nada es perder todas las ventas potenciales por arriba de 80,000 comidas. Con la nueva capacidad, el flujo de efectivos será igual a las comidas adicionales servidas al tener capacidad de 130,000 comidas, multiplicadas por una ganancia de $2 por comida. En el año 0, el único flujo de efectivo es –$200,000 para la inversión inicial. En el año 1, la demanda de 90.000 comidas quedará completamente satisfecha por la expansión de la capacidad, de manera que el flujo de efectivo incremental es (90,000 – 80,000) ($2) = $20,000. En los años subsecuentes las cifras son las siguientes:

Año 2: demanda = 100,000; flujo de efectivo = (100,000 – 80,000) $2 = $40,000

Año 3: demanda = 110,000; flujo de efectivo = (110,000 – 80,000) $2 = $60,000

Año 4: demanda = 120,000; flujo de efectivo = (120,000 – 80,000) $2 = $80,000

Año 5: demanda = 130,000; flujo de efectivo = (130,000 – 80,000) $2 = $100,000

Si la nueva capacidad fuera menor que la demanda esperada en cualquier año, restaríamos la capacidad base de la nueva capacidad (en lugar de la demanda). La dueña debe tomar en cuenta el valor del dinero en el tiempo y aplicar técnicas como el valor presente neto o la tasa interna de retorno (vea MyOMLab, suplemento F, "Análisis financiero"). Por ejemplo, el valor presente neto (VPN) de este proyecto a una tasa de descuento de 10 % se calcula aquí y es igual a $13,051.76.

$$\text{VPN} = -200{,}000 + [(20{,}000/1.1)] + [40{,}000/(1.1)^2] + [60{,}000/(1.1)^3] + [80{,}000/(1.1)^4] + [100{,}000/(1.1)^5]$$

$$= -\$200{,}000 + \$18{,}181.82 + \$33{,}057.85 + \$45{,}078.89 + \$54{,}641.07 + \$62{,}092.13$$

$$= \$13{,}051.76$$

PUNTO DE DECISIÓN

Antes de decidir sobre la alternativa de capacidad, la dueña debe también examinar las inquietudes cualitativas, como futuros competidores en el lugar. Además, la atmósfera casera del restaurante podría perderse con la expansión. Aún más, debe considerar otras alternativas (vea el problema resuelto 2).

MyOMLab

El Tutor 6.2en MyOMLab presenta un ejemplo nuevo para practicar la estimación de flujos de efectivo para decisiones de capacidad.

MyOMLab

Herramientas para la planeación de la capacidad

La planeación de la capacidad requiere pronósticos de la demanda para un periodo extendido. Desafortunadamente, la exactitud de los pronósticos declina cuando el horizonte se alarga. Además, anticipar lo que harán los competidores aumenta la incertidumbre de los pronósticos de la demanda. La demanda durante cualquier periodo quizá no tenga una distribución uniforme; pueden ocurrir (y a menudo es así) picos y valles de demanda dentro del periodo. Estas realidades necesitan tener un amortiguador de capacidad. En esta sección, se introducen tres métodos que manejan la incertidumbre y variabilidad de la demanda de manera más formal: **1.** modelos de líneas de espera, **2.** simulación y **3.** árboles de decisión. Los modelos de líneas de espera y simulación explican el comportamiento aleatorio, independiente de muchos clientes, en términos tanto del tiempo de su llegada como de sus necesidades de procesamiento. Los árboles de decisión permiten anticipar eventos, como acciones de los competidores, que requieren una secuencia de decisiones respecto a las capacidades.

Modelos de líneas de espera

Los modelos de líneas de espera con frecuencia son útiles en la planeación de la capacidad, como seleccionar el amortiguador de capacidad apropiado para un proceso de alto contacto con el cliente. Las líneas de espera tienden a desarrollarse frente a un centro de trabajo, como un mostrador de boletos en un aeropuerto, un centro de máquinas o una computadora central. La razón es que el tiempo de llegadas entre trabajos y clientes varía, y el tiempo de procesamiento puede variar de un cliente a otro. Los modelos de líneas de espera utilizan distribuciones de probabilidad para proporcionar estimaciones del tiempo de espera promedio del cliente, la longitud promedio de la línea de espera y la utilización del centro de trabajo. Los administradores usan esta información para elegir la capacidad efectiva en costos, equilibrar el servicio al cliente y el costo de agregar capacidad.

El suplemento B, "Líneas de espera", sigue a este capítulo y proporciona un tratamiento más completo de estos modelos. Introduce las fórmulas para estimar importantes características de una línea de espera, como el tiempo de espera promedio del cliente y la utilización promedio de la instalación para diferentes diseños de esta. Por ejemplo, tal vez una instalación esté diseñada para tener una o más líneas de espera en cada operación y para dirigir a los clientes a través de una o varias operaciones. Dada la habilidad para calcular estas fórmulas y las estimaciones de costos para el tiempo de espera y el tiempo ocioso, los administradores pueden elegir diseños efectivos en costos y niveles de capacidad que también proporcionen el nivel deseado de servicio al cliente.

La figura 6.3 muestra la salida de POM para Windows para líneas de espera. Un profesor que recibe alumnos durante sus horas de oficina tiene una tasa de llegadas de tres estudiantes por hora y una tasa de servicio de seis estudiantes por hora. La salida muestra que el amortiguador de capacidad es 50% (1 – utilización promedio del servidor de 0.50). Este resultado se espera porque la tasa de servicio es el doble de la tasa de llegadas. Lo que tal vez no se espera es que un estudiante típico pase 20 minutos en la línea o hablando con el profesor, y la probabilidad de tener dos o más estudiantes en la oficina es de 0.25. Estos números pueden ser sorprendentemente altos, dado el elevado amortiguador de la capacidad.

FIGURA 6.3 ▼
Salida de POM para Windows de líneas de espera durante horas de oficina

Waiting Lines Results

Example Solution

Parameter	Value	Parameter	Value	Minutes	Seconds
Single-Server Model		Average server utilization	.5		
Arrival rate(lambda)	3	Average number in the line(Lq)	.5		
Service rate(mu)	6	Average number in the system(L)	1		
Number of servers	1	Average time in the line(Wq)	.17	10	600
		Average time in the system(W)	.33	20	1200

Table of Probabilities

Example Solution

k	Prob (num in sys = k)	Prob (num in sys <= k)	Prob (num in sys >k)
0	.5	.5	.5
1	.25	.75	.25
2	.13	.88	.13
3	.06	.94	.06
4	.03	.97	.03
5	.02	.98	.02
6	.01	1	.01
7	.0	1	.0

Simulación

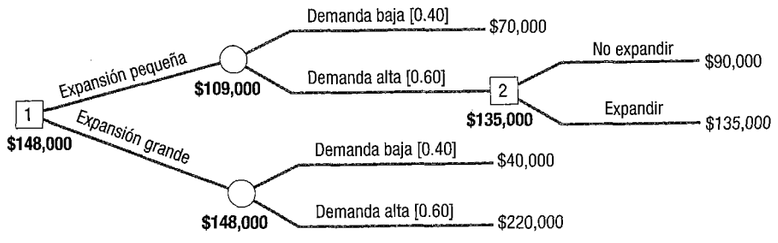
Los problemas más complejos de líneas de espera deben analizarse con simulación. Esta técnica puede identificar cuellos de botella y los amortiguadores de capacidad apropiados, incluso para procesos complejos con patrones de demanda aleatorios y alzas en la demanda predecibles durante un día típico. El paquete de simulación SimQuick, incluido en MyOMLab, permite construir modelos y sistemas dinámicos. Otros paquetes de simulación se encuentran con Extend, Simprocess, PorModel y Witness.

MyOMLab

Árboles de decisión

Un árbol de decisiones puede ser valioso, en particular para evaluar diferentes alternativas de expansión de la capacidad cuando la demanda es incierta y las decisiones son secuenciales (vea el suplemento A, "Toma de decisiones", enseguida del capítulo 1). Por ejemplo, la dueña de Grandmother's Chicken Restaurant (ejemplo 6.2) hace una expansión ahora, solo para descubrir en cuatro años que el crecimiento de la demanda es mucho mayor que lo pronosticado. En ese caso, debe decidir si expandirse más. En términos de costos de construcción y tiempo de paro, es doblemente probable que la expansión sea mucho más costosa que construir una instalación más grande desde el principio. Sin embargo, hacer una expansión grande ahora, cuando el crecimiento de la demanda es bajo, significa una mala utilización de la instalación. Mucho depende de la demanda.

La figura 6.4 muestra un árbol de decisiones para este punto de vista del problema, con la nueva información. El crecimiento de la demanda puede ser alto o bajo, con probabilidades de 0.40 y 0.60, respectivamente. La expansión inicial en el año uno (nodo cuadrado 1) puede ser pequeña o grande. El segundo nodo de decisión (nodo cuadrado 2), si hacer o no la expansión en una fecha posterior, se alcanza solo si la expansión inicial es pequeña y la demanda resulta ser alta debe tomarse una decisión sobre la segunda expansión en el año cuatro. Los pagos de cada rama del árbol son estimados. Por ejemplo, si la expasión inicial es grande, el beneficio financiero son $40,000 o $220,000, dependiendo de si la demanda es alta o baja. Al ponderar estos pagos con las probabilidades se llega a un valor esperado de $148,000. Este pago esperado es más alto que el pago de $109,000 por la expansión inicial pequeña, de manera que la mejor opción es hacer la expansión completa en el año uno.



◄ FIGURA 6.4
Árbol de decisión para la expansión de capacidad

REPASO DE LAS METAS DE APRENDIZAJE

1. **Definir capacidad y utilización.** Revise la sección "Medidas de la capacidad y la utilización" (pp. 203-204) y comprenda por qué medir la capacidad de los procesos de alto volumen es diferente de la medida en procesos de volumen bajo y flexible.
2. **Describir economías y deseconomías de escala.** Vea la sección "Planeación de la capacidad a largo plazo" (pp. 203-205). La figura 6.1 ilustra la relación entre el costo unitario promedio y la tasa de salida, y muestra diferentes rangos de salida en los que pueden ocurrir economías y deseconomías de escala.
3. **Identificar diferentes estrategias de tiempo y tamaño de la capacidad.** La sección "Estrategias de tiempo y tamaño de la capacidad" (pp. 205-208) y la figura 6.2 que da la diferencia entre las estrategias expansionista y de esperar y ver. Comprenda el concepto de amortiguadores de capacidad y cómo se relacionan con otras decisiones de la empresa.
4. **Identificar un enfoque sistemático para la planeación de la capacidad.** La sección "Enfoque sistemático para las decisiones de capacidad a largo plazo" (pp. 208-211) muestra la manera en que se estiman los requerimientos de capacidad para medidas de entrada al igual que de salida. Se centra en cómo se pueden desarrollar diferentes alternativas para disminuir las diferencias entre los requerimientos y la capacidad actual.
5. **Describir cómo los modelos de líneas de espera, simulación y árboles de decisión ayudan a la toma de decisiones de capacidad.** La sección "Herramientas para la planeación de la capacidad" (pp. 212-213) ilustra la utilización de estos diferentes métodos para tomar decisiones de capacidad.

b) La diferencia de capacidad es 1.83 máquinas (3.82 – 2). Deben comprarse dos máquinas más, a menos que la administración decida utilizar las opciones a corto plazo para cubrir la diferencia.

El solver de *Requerimientos de capacidad* en OM Explorer confirma estos cálculos, como se ve en la figura 6.5, usando solo el escenario "esperado" para los pronósticos de demanda.

FIGURA 6.5 ▶
Uso del solver *Requerimientos de capacidad* para el problema resuelto 1

Turnos/día	2
Horas/turno	8
Días/semana	5
Semanas/año	50
Amortiguador	5%
Capacidad actual	2

Componentes: 3
▲ Más componentes
▼ Menos componentes

Componentes	Procesamiento (h/unidad)	Preparación (h/lote)	Tamaño de lote (unidades/lote)	Pronósticos de demanda Pesimista	Esperado	Optimista
Sandalias para caballero	0.05	0.5	240		80,000	
Sandalias para dama	0.10	2.2	180		60,000	
Sandalias para niños	0.02	3.8	360		120,000	

Horas productivas de una unidad de capacidad por año: 3,800

	Pesimista		Esperado		Optimista	
	Proceso	Preparación	Proceso	Preparación	Proceso	Preparación
Sandalias para caballero	0	0.0	4,000	166.7	0	0.0
Sandalias para dama	0	0.0	6,000	733.3	0	0.0
Sandalias para niño	0	0.0	2,400	1,266.7	0	0.0
	0	0.0	12,400	2,166.7	0	0.0
Total de horas requeridas		0.0		14,566.7		0.0
Requerimientos de capacidad total (M)		0.00		3.83		0.00
Redondeado		0		4		0
Escenarios que se pueden satisfacercon el sistema/capacidad actual:				*Pesimista, optimista*		
Si la capacidad aumenta en		*0%*				
Capacidad actual expandida		3,800				
Requerimientos de capacidad total (M)		0.00		3.83		*0.00*
Redondeado		0		4		0
Escenarios que se pueden satisfacer con la capacidad actual:				Pesimista, optimista		

Problema resuelto 2

El caso base para Grandmother's Chicken Restaurant (vea el ejemplo 6.2) es hacer nada. La capacidad de la cocina en el caso base es de 80,000 comidas por año. Una capacidad alternativa para Grandmother's Chicken es una expansión en dos etapas. Esta alternativa expande la cocina al final de año 0, elevando su capacidad de 80,000 comidas por año a la del área de comedor (105,000 comida por año). Las ventas en los años 1 y 2 están a la altura de las expectativas; las capacidades de ambos, cocina y comedor, se expandirán al *final* del año 3 a 130,000 comidas por año. Esta actualización del nivel de capacidad debe ser suficiente hasta el año 5. La inversión inicial sería de $80,000 al final del año 0 y una inversión adicional de $170,000 al final de año 3. La ganancia antes de impuestos es $2 por comida. ¿Cuáles son los flujos de efectivo antes de impuestos para esta alternativa hasta el año 5, comparados con el caso base?

SOLUCIÓN

La tabla 6.1 muestra los flujos de entrada y salida. El flujo de efectivo del año 3 es inusual en dos aspectos. Primero, el efectivo que entra de las ventas es $50,000 en lugar de $60,000. El incremento en las ventas sobre el caso base es $25,000 comidas (105,000 – 10,000) en lugar de 30,000 comidas (110,000 – 80,000) porque la capacidad queda algo corta respecto a la demanda. Segundo, un flujo de salida de $170,000 ocurre al final del año 3, cuando inicia la segunda etapa de expansión. El flujo de efectivo neto para el año 3 es $50,000 – $170,000 = –$120,000.

Para hacer una comparación, el VPN de este proyecto a una tasa de descuento de 10% se calcula como sigue y es igual a –$2,184.90.

$$VPN = -80{,}000 + (20{,}000/1.1) + [40{,}000/(1.1)^2] - [120{,}000/(1.1)^3] + [80{,}000/(1.1)^4] + [100{,}000/(1.1)^5]$$
$$= -\$80{,}000 + \$18{,}181.82 + \$33{,}057.85 - \$90{,}157.77 + \$54{,}641.07 + \$62{,}092.13$$
$$= -\$2{,}184.90$$

Con una base puramente monetaria, una expansión de una etapa parece ser una mejor alternativa que la de dos etapas. Sin embargo, deben considerarse otros factores cualitativos, como se mencionó.

TABLA 6.1 | FLUJOS DE EFECTIVO PARA LA EXPANSIÓN EN DOS ETAPAS EN GRANDMOTHER'S CHICKEN

Año	Demanda proyectada (comidas/año)	Capacidad proyectada (comidas/año)	Cálculo del flujo de efectivo *incremental comparado* con el caso base (80,000 comidas/año)	Flujo de efectivo de entrada (salida)
0	80,000	80,000	Incremento en capacidad de cocina a 105,000 comidas =	($80,000)
1	90,000	105,000	90,000 – 80,000 = (10,000 comidas) ($2/comida) =	$20,000
2	100,000	105,000	100,000 – 80,000 = (20,000 comidas) ($2/comida) =	$40,000
3	110,000	105,000	105,000 – 80,000 = (25,000 comidas) ($2/comida) =	$50,000
			Incremento total de capacidad a 130,000 comidas =	$(170,000)
				$(120,000)
4	120,000	130,000	120,000 – 80,000 = (40,000 comidas) ($2/comida) =	$80,000
5	130,000	130,000	130,000 – 80,000 = (50,000 comidas) ($2/comida) =	$100,000

Preguntas para análisis

1. ¿Cuáles son las *economías de escala* en el tamaño de una clase universitaria? Cuando el tamaño de la clase aumenta, ¿qué síntomas de deseconomías de escala aparecen? ¿Cómo se relacionan estos síntomas en el contacto con el cliente?
2. Un niño pequeño establece un puesto de limonadas en la esquina de la calle College y el bulevar Air Park. Las temperaturas en el área suben a 100°F durante el verano. La intersección está cerca de una universidad importante y una construcción grande. Explique a este joven empresario cómo podría beneficiarse su negocio con las economías de escala. Explique también algunas condiciones que pueden llevar a deseconomías de escala.

Problemas

El OM Explorer y POM para Windows están disponibles para todos los estudiantes de la décima edición de este libro. Vaya a **www.pearsonhighered.com/krajewski** para bajar estos paquetes de computadora. Si compró MyOMLab, también tiene acceso al software de modelos activos y mucha ayuda para resolver los problemas siguientes. Verifique con su instructor la mejor manera de usar estos recursos. En muchos casos, el instructor le pedirá que comprenda cómo se hacen los cálculos a mano. Por lo menos, el software proporciona una verificación de sus cálculos. Cuando los cálculos son muy complejos y la meta es interpretar los resultados al tomar una decisión, el software sustituye por completo los cálculos manuales.

Los problemas 12, 14, 17, 18, 19 y 22 requieren la lectura del suplemento A, "Toma de decisiones". Los problemas 11, 15, 16, 19 y 22 requieren la lectura del suplemento F de MyOMLab, "Análisis financiero".

1. Dahlia Medical Center tiene 30 salas de trabajo de parto. En 15 de ellas se atienden trabajos de parto y partos, tres habitaciones son para partos y una habitación especial está reservada para partos complicados. Estas instalaciones operan todo el tiempo. El tiempo que se pasa en las salas de trabajo de parto varía de horas a días, con un promedio de alrededor de un día. El promedio de partos no complicados requiere cerca de una hora en una sala de partos.

   Durante un periodo de tres días excepcionalmente ocupados, nacieron 109 bebés saludables en el Dahlia Medical Center. Nacieron 60 bebés en salas de trabajo de parto y salas de parto; 45 nacieron en habitaciones combinadas de trabajo de parto y parto y solo cuatro bebés requirieron una sala de trabajo de parto y la habitación especial para complicaciones. ¿Cuál de las instalaciones (salas de trabajo de parto, habitaciones-combinación de trabajo de parto y parto o salas de parto) tuvieron la tasa de utilización más alta?
2. Un proceso actualmente da servicio a un promedio de 50 clientes por día. Las observaciones en semanas recientes muestran que su utilización es alrededor de 90%, permitiendo solo un 10% de amortiguamiento de capacidad. Si se espera que la demanda sea 75% del nivel actual en cinco años y la administración desea tener un amortiguador de capacidad de solo 5%, ¿qué requerimientos de capacidad deben planearse?
3. Una línea aérea debe planear a largo plazo su capacidad de flota y su programa de utilización de aviones. Para un

segmento de vuelo, el número promedio de clientes por día es 70, que representa 65% de tasa de utilización del equipo asignado al segmento de vuelo. Si se espera que la demanda crezca a 84% de clientes para el segmento de vuelo en tres años, ¿qué requerimiento de capacidad debe planearse? Suponga que la administración considera que un amortiguador de capacidad de 25% es apropiada.

4. Macon Controls produce tres tipos diferentes de unidades de control utilizadas para proteger equipo industrial del sobrecalentamiento. Cada una de las unidades debe procesarse en una máquina que Macon considera que es el cuello de botella. La planta opera dos turnos de ocho horas, cinco días de la semana, 52 semanas al año. La tabla 6.2 proporciona los tiempos estándar en el cuello de botella, tamaños de lote y pronósticos de demanda para las tres unidades. Debido a la incertidumbre en la demanda, el administrador de operaciones obtiene tres pronósticos de demanda (pesimista, esperado y optimista). El administrador de operaciones piensa que lo mejor es 20% de capacidad de amortización .

TABLA 6.2 | CAPACIDAD DE INFORMACIÓN PARA LOS CONTROLES MACON

	INFORMACIÓN DE LA CAPACIDAD (TIEMPO ESTÁNDAR)			PRONÓSTICOS DE DEMANDA		
Componente	**Procesamiento (h/unidad)**	**Preparación (h/unidad)**	**Tamaño del lote (unidades/lote)**	**Pesimista**	**Esperado**	**Optimista**
A	0.05	1.0	60	15,000	18,000	25,000
B	0.20	4.5	80	10,000	13,000	17,000
C	0.05	8.2	120	17,000	25,000	40,000

a) ¿Cuántas máquinas se requieren para cumplir la demanda mínima (pesimista), la demanda esperada y la demanda máxima (optimista)?

b) ¿Cuántas máquinas se requieren si el administrador de operaciones decide duplicar el tamaño del lote?

c) Si el administrador de operaciones tiene tres máquinas y piensa que la planta puede reducir 20% el tiempo de preparación mediante iniciativas de mejora de procesos, ¿tiene la planta la capacidad adecuada para cumplir todos los escenarios de demanda sin aumentar el tamaño del lote?

5. Up, Up and Away es un productor de papalotes y mangas de viento. Los datos relevantes de una operación de cuello de botella en el taller para el próximo año fiscal están dados en la siguiente tabla:

Artículo	**Papalotes**	**Mangas de viento**
Pronóstico de demanda	30,000 unidades/año	12,000 unidades/año
Tamaño del lote	20 unidades	70 unidades
Tiempo de procesamiento estándar	0.3 horas/unidad	1.0 horas/unidad
Tiempo de preparación estándar	3.0 horas/lote	4.0 horas/lote

El taller trabaja dos turnos por día, ocho horas por turno, 200 días por año. En actualidad, la compañía opera cuatro máquinas y desea un amortiguador de 25%. ¿Cuántas máquinas deben comprarse para cumplir la demanda el año próximo sin recurrir a soluciones de corto plazo?

6. Tuff Rider Inc. fabrica bicicletas de paseo y de montaña con una variedad de marcos, colores y combinaciones de componentes. Las bicicletas idénticas se producen en lotes de 100. La demanda proyectada, los tamaños de lote y los tiempos estándar se muestran en la siguiente tabla:

Artículo	**Paseo**	**Montaña**
Pronóstico de demanda	50,000 unidades/año	100,000 unidades/año
Tamaño del lote	100 unidades	100 unidades
Tiempo de procesamiento estándar	0.25 horas/unidad	.50 horas/unidad
Tiempo de preparación estándar	2 horas/lote	3 horas/lote

El taller trabaja ocho horas por día, cinco días por semana, 50 semanas por año. Opera cinco estaciones de trabajo, cada una produce una bicicleta en el tiempo mostrado en la tabla. El taller mantiene 15% de amortiguador de capacidad. ¿Cuántas estaciones de trabajo se requerirán el siguiente año para cumplir la demanda esperada sin utilizar tiempo extra y sin disminuir el amortiguador de capacidad?

7. Arabella está considerando una expansión del área de piso de su tienda de ropa de alta moda, The French Prints, aumentando su espacio rentado en la elegante plaza de Cherry Creek, de 2,000 a 3,000 pies cuadrados. La plaza Cherry Creek afirma tener una de las tasas más altas de valor de ventas por pie cuadrado del país. Las rentas (que incluyen luz y agua, seguridad y costos similares) son $110 por pie cuadrado por año. Los incrementos en salarios por la expansión de French Prints se muestran en la tabla, con las proyecciones de ventas por pie cuadrado. El costo de compra de bienes vendidos promedia 70% de los precios de venta. Las ventas son estacionales, con un pico importante en la temporada de fiestas de fin de año.

Año	**Trimestre**	**Ventas (por pie²)**	**Salarios incrementales**
1	1	$ 90	$12,000
	2	60	8,000
	3	110	12,000
	4	240	24,000
2	1	99	12,000
	2	66	8,000
	3	121	12,000
	4	264	24,000

a) Si Arabella expande French Prints al final del año 0, ¿cuál será su flujo de efectivo trimestral antes de impuestos hasta el año dos?

b) Proyecte los flujos de efectivo trimestrales que sigue el patrón de ventas (10% anual compuesto de aumento) para el año tres.

8. El parque de diversiones Astro World tiene la oportunidad de expandir su tamaño ahora (final del año 0) comprando una propiedad adyacente por $250,000 y agregando juegos por un costo de $550,000. Se espera que esta expansión aumente las entradas 30% sobre las entradas sin expansión. El precio de admisión es $30, con un aumento de $5 planeado para el inicio del año tres. Se espera que los costos adicionales de operación sean $100,000 por año. Las entradas estimadas para los siguientes cinco años, *sin expansión* son los siguientes:

Año	1	2	3	4	5
Entradas	30,000	34,000	36,250	38,500	41,000

a) ¿Cuáles son los flujos de efectivo antes de impuestos combinados para los años 0 a 5 que son atribuibles a la expansión del parque?

b) Sin considerar impuestos, depreciación y el valor del dinero en el tiempo, determine cuánto tiempo tomará recuperar la inversión).

9. Kim Epson opera un servicio completo de lavado de vehículos, que trabaja de las 8 a.m. a las 8 p.m., siete días de la semana. El lavado de coches tiene dos estaciones: un lavado automático y secado y uno manual para limpieza de interiores. La estación de lavado y secado automático puede manejar 30 automóviles por hora. La estación de limpieza de interiores es capaz de manejar 200 vehículos por día. Con base en una revisión reciente de fin de año de las operaciones, Kim estima que la demanda futura para la estación de limpieza interior para los siete días de la semana, expresada como número de coches promedio por día, será la siguiente:

Día	Lun.	Mar.	Miér.	Jue.	Vie.	Sáb.	Dom.
Automóviles	160	180	150	140	280	300	250

Si instala equipo adicional (por un costo de $50,000), Kim puede aumentar la capacidad de la estación de limpieza interior de 300 automóviles por día. Cada lavado de coches genera una contribución de $4.00. ¿Debe Kim instalar el equipo adicional si espera recuperar su inversión antes de impuestos en un periodo de tres años?

10. Roche Brothers está considerando una expansión de capacidad de su supermercado. El propietario del terreno construirá la ampliación del negocio según las necesidades, a cambio de $200,000 al completarla y con un contrato de renta de cinco años. El incremento en la renta por la ampliación es de $10,000 por mes. Las ventas anuales proyectadas hasta el año cinco se dan en la tabla. La capacidad efectiva actual es equivalente a 500,000 clientes por año. Suponga 2% de ganancia antes de impuestos sobre las ventas.

Año	1	2	3	4	5
Clientes	560,000	600,000	685,000	700,000	715,000
Ventas promedio por cliente	$50.00	$53.00	$56.00	$60.00	$64.00

a) Si Roche expande su capacidad para servir a 700,000 clientes por año (final del año 0), ¿cuáles son los flujos de efectivo incrementales anuales antes de impuestos proyectados atribuibles a esta expansión?

b) Si Roche expande su capacidad para servir a 700,000 clientes por año al final de año dos, el propietario de terreno construirá la misma expansión por $240,000 y un contrato de renta por tres años a $12,000 por mes. ¿Cuáles son los flujos de efectivo incrementales anuales antes de impuestos proyectados atribuibles a esta alternativa de expansión?

11. MKM International busca comprar una nueva máquina CNC (control numérico por computadora) para reducir costos. Está considerando dos máquinas alternativas. La máquina uno cuesta $500,000, pero da 15% de ahorros sobre la máquina que está en uso. La máquina dos cuesta $900,000 y da 25% de ahorros sobre la máquina actual. Con el fin de cubrir la demanda, se proporciona también la información en la tabla de pronósticos de costos.

a) Con base en el VPN de los flujos de efectivo para estos cinco años, ¿qué máquina debe comprar MKM? Suponga una tasa de descuento de 12%.

b) Si MKM baja su tasa de descuento requerida a 8%, ¿qué máquina compraría?

Año	**Costo proyectado**
2	1,000,000
2	1,350,000
3	1,400,000
4	1,450,000
5	2,550,000

12. Dawson Electronics es un fabricante de módulos de control de alta tecnología para sistemas de riego por aspersión. Denise, la directora ejecutiva, intenta decidir si la compañía debe desarrollar uno de dos nuevos productos potenciales, el Ahorrador de agua 1000 o el Pasto verde 5000. Con cada producto, Dawson puede captar un porcentaje de mercado mayor si elige expandir la capacidad comprando máquinas adicionales. Dados diferentes escenarios, las probabilidades de ocurrencia y la expansión de capacidad contra no cambiar la capacidad, las ventas potenciales de cada producto se resumen en la tabla 6.3.

TABLA 6.3 | INFORMACIÓN DE DEMANDA Y VENTAS PARA DAWSON ELECTRONICS

	Ahorrador de agua 1000 Dólares de venta ($1000)	**Pasto verde 5000 Dólares de venta ($1000)**	**Probabilidad de ocurrencia**
Con expansión de capacidad			
Demanda baja	1000	2500	0.25
Demanda media	2000	3000	0.50
Demanda alta	3000	5000	0.25
Sin expansión de capacidad			
Demanda baja	700	1000	0.25
Demanda media	1000	2000	0.50
Demanda alta	2000	3000	0.25

a) ¿Cuál es el pago esperado para el Ahorrador de agua 1000 y el Pasto verde 5000, con y sin expansión de capacidad?

b) ¿Qué producto debe elegir, Denise y con qué opción de expansión de capacidad?

Problemas avanzados

13. Knott's Industries fabrica conjuntos de columpios para jardín estándar y de primera. Actualmente tiene cuatro máquinas idénticas para fabricar los columpios, que operan 250 días por año y ocho horas cada día. Se desea un amortiguador de capacidad de 20%. La siguiente información también se conoce:

	Modelo estándar	Modelos de primera
Demanda anual	20,000	10,000
Tiempo de procesamiento estándar	7 min	20 min
Tamaño de lote promedio	50	30
Tiempo de preparación estándar por lote	30 min	45 min

a) ¿Tiene Knott's suficiente capacidad para cubrir la demanda anual?

b) Si Knott's pudiera reducir el tiempo de preparación para el modelo de primera de 45 a 30 minutos, ¿tendría suficiente capacidad para producir 20,000 unidades de cada tipo de columpios?

14. Un administrador desea decidir si comprar una nueva máquina o dos. Si solo compra una máquina y la demanda resulta ser excesiva, la segunda máquina se puede comprar después. No obstante, algunas ventas se perderán debido a que el tiempo de entrega de este tipo de máquina es a seis meses. Además, el costo por máquina será menor si se compran ambas al mismo tiempo. La probabilidad de una demanda baja se estima en 0.30 y la de una demanda alta, en 0.70. El VPN después de impuestos de los beneficios de dos máquinas juntas es $90,000 si la demanda es baja y $170,000 si es alta.

Si se compra una máquina y la demanda es baja, el VPN es $120,000. Si la demanda es alta, el administrador tiene dos opciones: **1.** no actuar, que tiene un VPN de $120,000, **2.** subcontratar con VPN de $140,000 y **3.** comprar la segunda máquina con VPN de $130,000.

a) Dibuje un árbol de decisiones para este problema.

b) ¿Cuál es la mejor decisión y cuál es su pago esperado?

15. Hace varios años, River City construyó una planta de purificación de agua para remover las toxinas y filtrar el agua para beber. Debido al crecimiento de la población, la demanda de agua el próximo año será mayor que la capacidad de la planta de 120 millones de galones por año. Por lo tanto, la ciudad debe expandir la instalación. La demanda estimada durante los próximos 20 años se da en la tabla 6.4.

La comisión de planeación de la ciudad está considerando tres alternativas:

- *Alternativa 1*: expandir suficiente al final del año 0 para que dure 20 años, lo cual significa un incremento de 80 millones de galones (200 – 120).
- *Alternativa 2*: expandir al final del año 0 y al final del año 10.
- *Alternativa 3*: expandir al final de los años 0, 5, 10 y 15.

Cada alternativa proporcionará los 200 millones de galones necesarios por año al final de los 20 años, en que el valor de la planta será el mismo sin importar la alternativa elegida. Se puede lograr economías de escala significativas en costos de construcción: una expansión de 20 millones de galones costaría $18 millones; una expansión de 40 millones de galones, $30 millones; una expansión de 80 millones de galones, solo $50 millones. El nivel de las tasas de interés futuras es incierto, lo que lleva a incertidumbre acerca de la carga financiera. La ciudad piensa que puede ser tan baja como 12% y tan alta como 16% (vea el suplemento F, "Análisis financiero", de MyOMLab).

a) Calcule los flujos de efectivo para cada alternativa, compárelos con el caso base de no hacer nada. (*Nota*: como servicio municipal, la operación no paga impuestos).

b) ¿Qué alternativa minimiza el valor presente de los costos de construcción durante los siguientes 20 años si la tasa de descuento es 12%?, ¿y 16%?

c) Como la decisión involucra políticas públicas y compromiso, ¿qué consideraciones políticas debe enfrentar la comisión de planeación?

TABLA 6.4 | DEMANDA DE AGUA

Año	Demanda	Año	Demanda	Año	Demanda
0	120	7	148	14	176
1	124	8	152	15	180
2	128	9	156	16	184
3	132	10	160	17	188
4	136	11	164	18	192
5	140	12	168	19	196
6	144	13	172	20	200

16. Mars Incorporated está interesada en sacar al mercado un nuevo dispositivo para ahorrar combustible que se instala en los vehículos eléctricos industriales. El dispositivo, llamado "Phyton", promete ahorrar hasta 15% de la energía eléctrica requerida para operar el montacargas eléctrico. Mars espera que una demanda modesta durante el año de introducción vaya seguida de un incremento estable en los años subsecuentes. El grado de este incremento en la demanda se basará en las expectativas de los clientes respecto al costo futuro de la electricidad, que se muestran en la tabla 6.5. Mars espera vender el dispositivo en $500 cada uno y espera poder mantener ese precio en un futuro próximo.

TABLA 6.5 | DEMANDA DEL DISPOSITIVO PHYTON PARA AHORRAR ENERGÍA

	DEMANDA ESPERADA DEL DISPOSITIVO EN UNIDADES/AÑO	
Año	Pequeños incrementos en el costo de energía eléctrica	Incrementos grandes en el costo de energía eléctrica
1	1,000	10,000
2	5,000	8,000
3	1,000	15,000
4	15,000	20,000
5	18,000	30,000

Mars se enfrenta a dos alternativas:

- *Alternativa 1*: fabricar por sí misma el dispositivo, lo cual requiere una inversión inicial de $250,000 en planta y equipo y un costo variable de $75 por unidad.
- *Alternativa 2*: subcontratar la producción, que no requiere inversión inicial, pero implica un costo de $300.

a) Suponiendo pequeños incrementos en el costo de la electricidad, calcule los flujos de efectivo para cada alternativa. En los próximos cinco años, ¿qué alternativa maximiza el VPN de este proyecto con una tasa de descuento de 10 por ciento?

b) Suponiendo incrementos grandes en el costo de la electricidad, calcule los flujos de efectivo para cada alternativa. En los próximos cinco años, ¿qué alternativa maximiza el VPN de este proyecto con una tasa de descuento de 10 por ciento?

17. Acme Steel Fabricators han experimentado un auge de negocios durante los últimos cinco años. La compañía fabrica una amplia gama de productos de acero, como pasamanos, escaleras y marcos estructurales ligeros. El método manual actual de manejo de materiales está ocasionando inventarios excesivos y congestión. Acme está considerando la compra de un sistema de grúas por riel montado en lo alto o de un montacargas grande para aumentar la capacidad y mejorar la eficiencia en la manufactura.

El pago anual antes de impuestos del sistema depende de la demanda futura. Si la demanda se queda en el nivel actual, cuya probabilidad es 0.50, los ahorros anuales del sistema de grúas serán de $10,000. Si la demanda crece, el sistema de grúas ahorrará $25,000 anuales por las eficiencias operativas además de las nuevas ventas. Por último si la demanda baja, el sistema de grúas tendrá una pérdida anual estimada de $65,000. La probabilidad se estima en 0.30 para una demanda alta y 0.20 para una demanda más baja.

Si se compra el montacargas, los pagos anuales serán de $5,000, si la demanda no cambia; $10,000, si la demanda crece y $25,000, si disminuye.

a) Dibuje un árbol de decisiones para este problema y calcule el valor esperado de los pagos para cada alternativa.

b) ¿Cuál es la mejor alternativa, basada en los valores esperados?

18. Respecto al problema 4, el administrador de operaciones en Macon Controls piensa que la demanda pesimista tiene una probabilidad de 20%, la demanda esperada tiene una probabilidad de 50% y la optimista, una probabilidad de 30%. Por ahora deben comprarse nuevas máquinas a un costo de $500,000 cada una, el precio cargado por cada unidad de control es $110 y el costo variable de producción es $50 por unidad. (Sugerencia: como el predio y el costo variable de cada unidad de control son iguales, la ganancia maximizando la mezcla de productos será la misma que la mezcla que maximiza el número total de unidades producidas).

a) Dibuje un árbol de decisiones para este problema.

b) ¿Cuántas máquinas debe comprar la compañía y cuál es el pago esperado?

19. Darren Mack es dueño de una gasolinería y de un minisúper, "Gas n' Go". Después de oír una conferencia sobre marketing, se da cuenta de que es posible ganar más clientes para su tienda y obtener un alto margen de ganancias si vende la gasolina a un precio más bajo. Sin embargo, Gas n' Go no califica para descuentos en sus compras de gasolina y por ello no la pueden vender con ganancia si baja el precio. Cada bomba nueva cuesta $95,000 (incluyendo la instalación), pero aumentará la afluencia de clientes en la tienda en 1,000 clientes por año. Además, como Gas n' Go estará vendiendo su gasolina sin ganancia, Darren planea aumentar el margen de ganancia en los artículos de la tienda durante los cinco años siguientes. Suponga una tasa de descuento de 8%. Las ventas proyectadas del minisúper por cliente y el margen de ganancia proyectado para los próximos cinco años son los siguientes:

Año	Ventas por cliente proyectadas para la tienda	Margen de ganancia proyectado
1	$ 5.00	20%
2	$ 6.50	25%
3	$ 8.00	30%
4	$10.00	35%
5	$11.00	40%

a) ¿Cuál es el VPN para los próximos cinco años de los flujos de efectivo si Darren instala cuatro bombas nuevas?

b) Si Darren requiere un periodo de pago de cuatro años, ¿debe instalar las cuatro bombas nuevas?

20. Mackelprang, Inc. está en las etapas iniciales de la construcción de la comunidad planeada premier en el área metropolitana de Phoenix, Arizona. El punto de venta principal será los exuberantes campos de golf. Las casas con vista al campo de golf generarán primas más altas que las que no la tienen, pero construir campos de golf es costoso y ocupan espacio valioso en el que se podrían edificar casas sin esa vista. Mackelprang Inc. tiene una capacidad de terreno limitada. Para maximizar sus ganancias, se encuentra ante la disyuntiva de decidir cuántos campos de golf debe construir, que a su vez impactarán el número de casas con y sin vista a los campos que puede construir. Mackelprang Inc. se da cuenta de que esta decisión tiene una relación directa con los compradores premier que estén dispuestos a pagar por las casas con vista y está comprometido a construir al menos un campo de golf, pero tiene suficiente espacio para hacer tres. La siguiente tabla indica los costos y los ingresos potenciales por cada campo:

a) ¿Qué campo o campos de golf debe construir Mackelprang, Inc.?

b) ¿Cuál es el pago esperado de este proyecto?

	Indian River	The Cactus	Wildwood
Costo	$2.6M	$1.25M	$2.5M
Ingreso más alto posible	$4M	$2M	$2.M
Probabilidad de ingresos altos	0.3	0.2	0.3
Ingreso más probable	$2.5M	$1.5M	$4M
Probabilidad de ingreso más probable	0.4	0.5	0.5
Ingreso más bajo posible	$1M	$1M	$1M
Probabilidad de ingresos bajos	0.3	0.3	0.2

21. Surgieron dos nuevas alternativas para expandir Grandmother's Chicken (vea el problema resuelto 2). Se refieren a más automatización en la cocina e incluyen un proceso de cocimiento especial que retiene el sabor de la receta original del pollo. Aunque el proceso es más intenso en capital, bajaría los costos de mano de obra, de manera que la ganancia antes de impuestos de *todas* las ventas (no solo las de la capacidad agregada) subiría de 20 a 22%. Esta ganancia aumentaría la utilidad antes de impuestos 2% de cada dólar de venta hasta $800,000 (80,000 comidas × $10) y en 22% cada dólar de venta entre $800,000 y el nuevo límite de capacidad. De otra manera, las nuevas alternativas son prácticamente las mismas que en el ejemplo 6.2 y el problema resuelto 2.

- *Alternativa 1*: expandir tanto la cocina como el comedor (al final del año 0), elevando la capacidad a 130,000 comidas por año. El costo de construcción, incluyendo la nueva automatización, sería de $336,000 (en lugar de $200,000).
- *Alternativa 2*: expandir solo la cocina ahora y elevar su capacidad a 105,000 comidas por año al final del año tres; expandir ambos, cocina y comedor, al volumen de 130,000 comidas por año. Los costos de construcción y equipo serían de $424,000, con $220,000 al final del año 0 y el resto al final del año tres. Igual que en la alternativa 1, el margen de contribución subiría a 22 por ciento.

Con ambas alternativas, el valor de recuperación sería despreciable. Compare los flujos de efectivo de todas las alternativas. ¿Debe Grandmother's Chicken expandirse con la nueva o con la antigua tecnología? ¿Debe expandirse ahora o más adelante?

22. El vicepresidente de operaciones en Dintell Corporation, un importante proveedor de bolsas de aire para el lado del pasajero de los automóviles, está considerando una expansión de $50 millones en el complejo de producción de la empresa en Fort Worth, Texas. Las proyecciones económicas más recientes indican una probabilidad de 0.60 de que el mercado global sea de $400 millones por año en los próximos cinco años y una probabilidad de 0.40 de que sea solo de $200 millones anuales en el mismo periodo. El departamento de marketing estima que Dintell tiene 0.50 de probabilidad de captar 40% del mercado y una probabilidad igual de obtener solo 30% del mercado. El costo de los bienes vendidos se estima en 70% de las ventas. Para fines de planeación, la compañía utiliza una tasa de descuento de 12%, una tasa de impuestos de 40% y un programa de depreciación SRCAM (sistema de recuperación de costo acelerado modificado). Los criterios para decisiones de inversión en Dintell son: **1.** el valor presente neto esperado debe ser mayor que cero, **2.** debe haber por los menos una oportunidad de 70% de que el valor presente neto sea positivo y **3.** debe haber una oportunidad no mayor a 10% de que la empresa pierda más de 20% de la inversión inicial.

a) Con base en los criterios establecidos, determine si Dintell debe financiar el proyecto.

b) ¿Qué efecto tendrá una probabilidad de 0.70 de captar 40% del mercado sobre la decisión?

c) ¿Qué efecto tendrá un incremento en la tasa de descuento a 15% sobre la decisión?, ¿y una disminución a 10 por ciento?

d) ¿Qué efecto tendrá la necesidad de otros 10 millones en el tercer año sobre la decisión?

CASO EN VIDEO Rotación de clientes en las salas de Southwest Airlines

Rolling King y Herb Kelleher entraron a Southwest Airlines en 1971 con esta idea: si pueden llevar a los pasajeros a donde quieran ir, a tiempo, al menor precio posible y la pasan bien mientras viajan, les encantará volar en su aerolínea. ¿El resultado? Ninguna otra aerolínea en la historia de la industria ha tenido la lealtad del cliente y amplias ganancias por las que Southwest es famoso. La compañía ahora vuela más de 3,400 veces al día a más de 64 destinos en todo Estados Unidos.

Sin embargo, hay más en la historia que hacer promesas y esperar cumplirlas. Una gran parte del éxito de Southwest Airlines es su habilidad para planear la capacidad a largo plazo para cubrir la demanda, como también mejorar la utilización de su flota regresando el avión al aire más rápido que sus competidores. La capacidad en Southwest se mide en asientos-millas e incluso un minuto de reducción en el sistema de tiempos de rotación de aviones significa un asiento-milla que se puede agregar a la capacidad disponible de Southwest Airlines.

En cuanto un avión llama "en rango" a una de las localizaciones de Southwest en los aeropuertos, llamada estación, el administrador de operaciones local notifica al equipo de tierra para que todas las partes involucradas comiencen a movilizarse para dar servicio al avión en la preparación de su siguiente vuelo. El equipo de operaciones de tierra consiste en un conductor de transferencia de equipaje responsable de mover las maletas en vuelos de conexión a sus aviones apropiados, un conductor de equipaje en destino que mueve las maletas a las bandas de reclamo de equipaje por los pasajeros, un camión lavatorio que maneja los recipientes de drenaje de los baños, un agente de puerta para manejar la cuenta de maletas que entran y salen en los carritos de equipaje y un agente de contenedores para manejar equipaje y carga dentro del avión. El equipo de operaciones de tierra sabe que debe dar salida al avión en 25 minutos o menos. El reloj comienza a correr cuando el piloto pone el freno en las llantas del avión.

Pearson

La transferencia de equipaje comienza menos de 40 segundos después de apagar los motores en Southwest Airlines.

Los vuelos de llegada o salida están coordinados por los supervisores entre las 64 estaciones de aeropuertos de Southwest a través del sistema de información de operaciones en terminal (OTIS, *Operations Terminal Information System*). Cada supervisor local puede rastrear sus vuelos y manejar los retrasos o problemas en el sistema manteniéndose en contacto con las oficinas principales en Dallas, además de usar la información en OTIS, proveniente de las estaciones que ya enviaron sus vuelos.

¿Exactamente qué se necesita para rotar un avión? El vuelo 3155 que llega de Phoenix a Love Field en Dallas es un buen ejemplo. En Phoenix, los coordinadores de operaciones y los equipos de tierra dan la salida del avión como está programada, a las 9:50 a.m. El vuelo programado aterriza a las 3:35 p.m. en Dallas. El equipo de Phoenix registra en OTIS la información que el equipo de tierra necesitará en Dallas, como sillas de ruedas, equipaje documentado, datos de localización del contenedor de carga y otra información requerida para cerrar el vuelo en su punto de partida. Esta acción permite a la estación de Dallas saber qué esperar cuando el vuelo aterrice.

En Dallas, los coordinadores de operaciones de tierra monitorean los 110 vuelos de entrada y ahora supervisan al vuelo 3155 de Phoenix en el sistema, programado para una llegada a tiempo. Cuando el piloto llama "en rango" al acercarse a Dallas, el equipo de tierra se prepara para la acción.

Cuando el avión es guiado hasta su "marca de alto" en la puerta, el agente de puerta espera la señal del capitán de motores apagados y frenos puestos. En solo 10 segundos, el camión de provisiones se acerca para abrir la puerta de atrás para reabastecer bebidas y botanas. El camión de combustible que espera extiende su manguera hacia la conexión debajo del ala y en menos de dos minutos recoge las instrucciones y comienza a cargar el combustible. En cuanto el avión está en posición, el equipo de operaciones dirige el pasillo telescópico y lo asegura al avión. Abren la puerta, saludan a la tripulación y los pasajeros comienzan a salir.

Afuera, menos de 40 segundos después de apagar los motores, el equipaje comienza a salir del avión y se coloca en el primer carro, las maletas con vuelo de conexión se envían a su siguiente destino y las piezas documentadas en la puerta se entregan en el pasillo telescópico para que los pasajeros las recojan.

Mientras los pasajeros salen del avión, la tripulación ayuda a limpiar y preparar la cabina para el siguiente vuelo. Si todo sale bien, el último pasajero deja el avión tan solo ocho minutos después. Para entonces, los pasajeros que esperan abordar ya están en una fila en sus posiciones designadas. El agente de puerta confirma que el avión está listo y llama al primer grupo para que entregue sus pases de abordar y camine por el pasillo telescópico.

Al terminar el abordaje, el agente de operaciones verifica la factura del combustible, el programa de contenedores de carga con la cuenta de piezas registrada y el registro del servicio de lavatorio confirmando la limpieza. La documentación final se entrega al capitán. La puerta del avión se cierra y se retrae el pasillo móvil. Treinta segundos después, se empuja al avión para que salga, el agente de operaciones hace el saludo tradicional al capitán para iniciar el vuelo. Tiempo transcurrido total: menos de 25 minutos.

La administración de la capacidad de Southwest se ha simplificado mediante decisiones estratégicas tomadas al principio de la vida de la compañía. Primero, la flota de aviones en su totalidad es Boeing 737. Esta sola decisión impacta todas las áreas de operaciones; desde la capacitación de la tripulación hasta el mantenimiento. Una sola configuración de avión también proporciona flexibilidad en la programación de la tripulación. Como los pilotos y las tripulaciones pueden distribuirse en la flota completa, no hay restricciones en cuanto a capacitación y certificación ligadas a tipos específicos de aviones.

La manera en que Southwest ha simplificado sus operaciones para lograr la rápida rotación significa que debe mantener un amortiguador grande para dar lugar a la variabilidad de sus operaciones diarias. Cualquier cosa, desde retrasos por el clima hasta aspectos inesperados de mantenimiento en la puerta, pondría en marcha lenta el flujo de las operaciones. Para manejar estos retos no anticipados, Southwest puso en sus horarios suficiente amortiguamiento para manejar estos retrasos, pero no tanto para que los empleados y aviones estén ociosos. Además, la compañía alienta la discusión para saber siempre qué funciona y dónde pueden hacerse mejoras. Si un problema se observa en una estación, digamos que las maletas no se empacaron como debían, esta información rápidamente se transmite a la estación donde se originó para que no vuelva a suceder.

Aun con la supervisión estricta de las operaciones que prevalece en Southwest, los ejecutivos de la compañía saben que es necesaria la mejora continua si ha de conservar su rendimiento en el futuro. Los ejecutivos saben que han logrado sus metas cuando las métricas internas y externas se logran. Por ejemplo, el departamento de transportes rastrea las horas de salida, las quejas de los clientes y el mal manejo de equipaje para todas las líneas aéreas. La compañía establece metas por alcanzar en estas dimensiones e informa a los empleados cada mes el desempeño de la compañía contra esas métricas y el resto de la industria. La comunicación frecuente con todos los empleados se entrega vía reuniones, carteles y boletines. Se otorgan recompensas, como premios y reparto de utilidades por los logros obtenidos.

En cuanto al futuro, Bob Jordan, el vicepresidente ejecutivo de planeación y estrategia, dice: "Ganamos dinero cuando nuestros aviones están en el aire, no en tierra, así que si podemos ahorrar un minuto de cada vuelta en todo el sistema, es como poner cinco aviones adicionales en el aire. Si un solo avión genera un ingreso anual de $25 millones, hay $125 millones de ganancias potenciales en esos ahorros de tiempo".

PREGUNTAS

1. ¿Cómo se miden la capacidad y la utilización en una línea aérea como Southwest Airlines?
2. ¿Qué factores pueden tener un impacto negativo en el tiempo de rotación en puerta para Southwest Airlines?
3. ¿Cómo sabe Southwest Airlines que está logrando sus metas?
4. ¿Cuáles son los aspectos importantes a largo plazo para administrar la capacidad, el ingreso y la satisfacción del cliente para Southwest Airlines?

CASO Fitness Plus, parte A

Fitness Plus, parte B, explora alternativas de expansión de una nueva instalación en el centro y está incluida en el Manual de recursos para el instructor. Si está interesado en este tema, pida al instructor un adelanto.

Fitness Plus es un club de salud y deportes con servicio completo en Greensboro, Carolina del Norte. El club proporciona una gama de instalaciones y servicios para apoyar tres actividades primarias: condición física, recreación y relajación. Las actividades de condición física en general ocurren en cuatro áreas del club: **1.** salón de aerobics, que puede trabajar hasta con tres personas por clase, **2.** salón equipado con pesas libres, **3.** salón de ejercicio físico con 24 piezas de equipo Nautilius y **4.** salón grande de ejercicio físico con 29 piezas de equipo cardiovascular. Este equipo incluye nueve escaleras, seis bandas, seis bicicletas cíclicas, tres bicicletas Airdyne (resistentes al aire), dos máquinas de aerobics cruzados, dos máquinas de remo, seis canchas de tenis y una escaladora. Las instalaciones recreativas comprenden ocho canchas de raquetbol, seis canchas de tenis y una alberca grande exterior. Fitness Plus también apoya equipos de softbol, volibol y natación en las ligas recreativas de la ciudad. La relajación se logra con clases de yoga dos veces por semana en el salón de aerobics, tinas de hidromasaje localizadas en cada cuarto de casilleros y un terapista calificado para masajes.

Situado en un parque grande de oficinas suburbano, Fitness Plus abrió sus puertas en 1995. Durante los primeros dos años, la membresía era pequeña y la utilización de las instalaciones, ligera. Para 1997, la membresía

había crecido, pues la condición física comenzó a tener un papel cada vez más importante en la vida de las personas. Junto con este crecimiento vino una mayor utilización de las instalaciones del club. Los registros indican que en el año 2000, un promedio de 15 miembros por hora entraban al club en un día típico. Por supuesto, el número real de miembros por hora variaba según el día y la hora. Algunos días durante los periodos menos llenos, solo entraban seis a ocho miembros por hora. En las horas pico, como los lunes de 4:00 p.m. a 7:00 p.m., el número podía llegar a 40 por hora.

El club estaba abierto de 6:30 a.m. a 11:00 p.m. de lunes a jueves. Los viernes y sábados, el club cerraba a las 8:00 p.m. y los domingos el horario era de 12:00 p.m. a 8:00 p.m.

Conforme la popularidad de la salud y de la condición física continuó creciendo, también lo hizo Fitness Plus. Para mayo de 2005, el número promedio de miembros que llegaba por hora había aumentado a 25. El periodo *más bajo tenía una tasa de 10 miembros por hora; durante las horas pico* 80 miembros entraban para usar las instalaciones. Este crecimiento trajo quejas de los miembros acerca de los llenos y la falta de disponibilidad de los equipos. La mayoría de estas quejas se centraban en las áreas de Nautilius, cardiovascular y aerobics. Los dueños comenzaron a preguntarse si en verdad el club era muy pequeño para su membresía. La investigación pasada indicó que los individuos hacían ejercicio un promedio de 60 minutos por visita. Los datos recolectados de las encuestas a miembros mostraron el siguiente patrón de uso de las instalaciones: 30% de los miembros hacen aerobics, 40% utilizan el equipo cardiovascular, 25% usan las máquinas Nautilus, 20% utilizan las pesas libres, 15% usan las canchas de raquetbol y 10% las canchas de tenis. Los dueños se preguntaban si podían usar esta información para estimar qué tan bien se utilizaba la capacidad existente.

Si los niveles de capacidad se estiraran, ahora era el momento de decidir qué hacer. Ya era mayo y cualquier expansión de las instalaciones tomaría por lo menos cuatro meses. Los dueños saben que enero es siempre el pico de las nuevas membresías y que cualquier capacidad nueva necesaria debe estar lista para entonces. Sin embargo, debían considerar otros factores. El área estaba creciendo, tanto en términos de población como geográficamente. El área del centro acababa de recibir una renovación importante y muchas oficinas y negocios nuevos estaban regresando, ocasionando un resurgimiento de la actividad.

Con este crecimiento también llegó más competencia. Un nuevo YMCA ofrecía un rango completo de servicios a costo bajo. Dos nuevas instalaciones de salud y condición física habían abierto el año anterior en lugares a 10 y 15 minutos de Fitness Plus. El primero, llamado Oasis, estaba dirigido al joven adulto y restringía la entrada a niños menores de 16 años. La otra instalación, Gold's Gym, proporciona solo un excelente entrenamiento en pesas y cardiovascular.

Los dueños pensaron acerca de la situación y tenían muchas preguntas: ¿estaban restringidas las capacidades de las instalaciones existentes, y si así era, *dónde? Si la expansión de la capacidad era necesaria, ¿debían* expandir la instalación existente? Debido a la cantidad limitada de terreno en el lugar actual, la expansión de algunos servicios puede requerir reducir la capacidad de otros. Por último, con el crecimiento de la competencia y el centro de la ciudad, ¿era este el momento de abrir una instalación para servir al mercado? Una nueva instalación tomaría seis meses en renovarse, y los recursos financieros no estaban disponibles para hacer las dos cosas.

PREGUNTAS

1. ¿Qué método utilizaría para medir la capacidad de Ftiness Plus? ¿Ha *llegado la instalación al límite de su capacidad?*
2. ¿Qué estrategia de capacidad sería apropiada para Fitness Plus? Justifique su respuesta.
3. ¿De qué manera vincularía las decisiones de capacidad que Fitness Plus está tomando con otros tipos de decisiones operativas?

Referencias seleccionadas

Bakke, Nils Arne y Ronald Hellberg. "The Challenges of Capacity Planning". *International Journal of Production Economics*, vols. 31-30 (1993), pp. 243-264.

Bower, J.L. y C.G. Gilbert, "How Managers' Everyday Decisions Create or Destroy Your Company's Strategy". *Harvard Business Review*, vol. 85, núm. 2 (2007), pp. 72-79.

Hartvigsen, David. *SimQuick: Process Simulation with Excel*, 2a. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2004.

"Intel's $10 Billion Gamble". *Fortune* (11 de noviembre, 2002), pp. 90-102.

Tenhiala, A. "Contingency Theory of Capacity Planning: The Link between Process Types and Planning Methods". *Journal of Operations Management*, vol. 29 (2011), pp. 65-77.

Klassen, Robert D. y Larry J. Menor. "The Process Management Triangle: An Empirical Investigation of Process Trade-offs". *Journal of Operations Management*, vol. 25 (2007), pp. 1015-1034.

Leonard, Christopher. "Corn Reserves Expected to Rise, Easing Food Prices", *The Associated Press*, 12 de mayo, 2011.

Ritzman, Larry P. y M. Hossein Safizadeh. "Linking Process Choice with Plant-Level Decisions About Capital and Human Resources". *Production and Operations Management*, vol. 8, núm. 4 (1999), pp. 374-392.

SUPLEMENTO

B

LÍNEAS DE ESPERA

Cualquiera que haya esperado en un semáforo, en McDonald's o en una oficina de registro ha experimentado la dinámica de las filas o líneas de espera. Quizá uno de los mejores ejemplos de administración efectiva de las líneas de espera es Walt Disney World. Un día el parque puede tener solo 25,000 clientes, pero otro llegar a 90,000. El análisis cuidadoso del flujo de procesos, la *tecnología* de los equipos para mover personas (manejo de materiales), la capacidad y la distribución mantienen los tiempos de espera para las atracciones en niveles aceptables.

El análisis de líneas de espera es una preocupación de los administradores porque afecta el diseño de procesos, la planeación de la capacidad, el desempeño del proceso y en última instancia, el desempeño de la cadena de suministro. En este suplemento se estudia por qué se forman las líneas de espera, la utilización de los modelos de líneas de espera en la administración de operaciones y la estructura de los modelos de líneas de espera. También se estudian las decisiones que los administradores toman con los modelos. Las líneas de espera también se pueden analizar utilizando simulación por computadora. El software como SimQuick, un paquete simulación incluido en MyOMLab o las hojas de cálculo de Excel se utilizan para analizar los problemas de este suplemento.

MyOMLab

Por qué se forman las líneas de espera

Una **línea de espera** es uno o más "clientes" que esperan servicio. Los clientes pueden ser personas u objetos inanimados, como máquinas que requieren mantenimiento, órdenes de venta esperando que las envíen o artículos en inventario esperando que los usen. Una línea de espera se forma por un desequilibrio temporal entre la demanda de un servicio y la capacidad del sistema para proporcionarlo. En la mayor parte de los problemas reales de líneas de espera, la tasa de demanda varía; esto es, los clientes llegan a intervalos impredecibles. Casi siempre, la tasa de producción del servicio también varía, dependiendo de las necesidades de los clientes. Suponga que los clientes de un banco llegan a una tasa de promedio de 15 por hora durante el día y que el banco procesa un promedio de 20 clientes por hora. ¿Por qué se desarrollaría una línea de espera?

línea de espera
Uno o más "clientes" que esperan un servicio.

METAS DE APRENDIZAJE *Después de estudiar este suplemento, usted será capaz de:*

1. Identificar los elementos de un problema de líneas de espera en una situación real.
2. Describir los modelos de un solo servidor, múltiples servidores y fuente finita.
3. Explicar cómo utilizar los modelos de líneas de espera para estimar las características de operación de un proceso.
4. Describir las situaciones en las que debe utilizarse simulación para analizar una línea de espera y la naturaleza de la información que se puede obtener.
5. Explicar cómo se utilizan los modelos de líneas de espera para tomar decisiones administrativas.

Las respuestas son que la tasa de llegada de los clientes varía durante el día y el tiempo requerido para procesar a un cliente suele variar. Durante la hora del medio día, pueden llegar 30 clientes al banco. Algunos suelen tener transacciones complicadas que requieren tiempos de proceso mayores que el promedio. La línea de espera puede crecer a 15 clientes por un periodo antes de que desaparezca. Aun cuando el gerente del banco proporcione más capacidad de la necesaria en promedio, todavía se tendrán líneas de espera.

Las líneas de espera se desarrollan incluso cuando el tiempo para atender a un cliente sea constante. Por ejemplo, un tren de transporte subterráneo es controlado por computadora para llegar a las estaciones de su ruta. Cada tren se programa para llegar a una estación, digamos cada 15 minutos. Incluso con los tiempos de servicio constantes, se originan filas mientras que los pasajeros esperan el siguiente tren y en ocasiones no logran subir al tren debido al tamaño de la multitud en las horas de mayor movimiento. En consecuencia, la variabilidad en la tasa de la demanda determina en este caso el tamaño de las líneas de espera. En general, si no hay variabilidad en la demanda o en la tasa de servicio y se proporciona suficiente capacidad, no se forman líneas de espera.

Empleo de la teoría de líneas de espera

La teoría de líneas de espera se aplica a las empresas de servicios, al igual que a las de manufactura, relacionando la llegada de los clientes y las características de procesamiento del sistema de servicio con las características de la salida del sistema de servicio. En nuestro análisis, se usa el término *servicio* de manera amplia: el acto de realizar un trabajo para el cliente. El sistema de servicio puede ser el corte de cabello en un salón o en una peluquería, satisfacer las quejas de los clientes o procesar una orden de producción de partes de una máquina. Otros ejemplos de clientes y servicios incluyen las líneas de asistentes al teatro que esperan comprar boletos, camiones que deben descargarse en un almacén, máquinas descompuestas que serán reparadas por un equipo de mantenimiento y pacientes que esperan el examen de un médico. Sin importar la situación, los problemas de líneas de espera tienen varios elementos comunes.

Estructura de los problemas de líneas de espera

El análisis de los problemas de líneas de espera comienza con una descripción de los elementos básicos de la situación. Cada etapa específica tendrá características diferentes, pero cuatro elementos que son comunes a todas las situaciones:

1. Una entrada, o **población de clientes**, que genera clientes potenciales.
2. Una línea de espera de clientes.
3. La **estación de servicio**, que consiste en una persona (o grupo) una máquina (o varias) o ambos, necesarios para realizar el servicio para el cliente.
4. Una **regla de prioridad**, que selecciona al siguiente cliente que será servido por la estación de servicio.

La figura B.1 muestra estos elementos básicos, los triángulos, círculos y cuadros intentan mostrar la diversidad de clientes con diferentes necesidades. El **sistema de servicio** describe el número de líneas de espera y el arreglo de las estaciones. Después de realizado el servicio, el cliente servido sale del sistema.

población de clientes
Una entrada que genera clientes potenciales.

estación de servicio
Una persona (o grupo), una máquina (o varias) o ambos, necesarios para realizar el servicio para el cliente.

regla de prioridad
Una regla que selecciona el siguiente cliente que será servido por la estación de servicio.

sistema de servicio
El número de líneas de espera y el arreglo o la distribución de las estaciones.

Población de clientes

Una población de clientes es la fuente de entrada al sistema de servicio. Si el número potencial de nuevos clientes para el sistema de servicio se afecta de manera apreciable por el número de clientes que ya están en el sistema, se dice que la fuente de entrada es *finita*. Por ejemplo, suponga que se asigna a un equipo de mantenimiento la responsabilidad de reparar 10 máquinas. La población de clientes para el equipo de mantenimiento es de 10 máquinas trabajando. La población genera clientes para el equipo de mantenimiento como una función de la tasa de fallas para las máquinas. Conforme fallan más máquinas y entran al sistema de servicio, ya sea en espera o en reparación, la población de clientes disminuye y la tasa a la que genera otro cliente disminuye. En consecuencia, se dice que la población de clientes es finita.

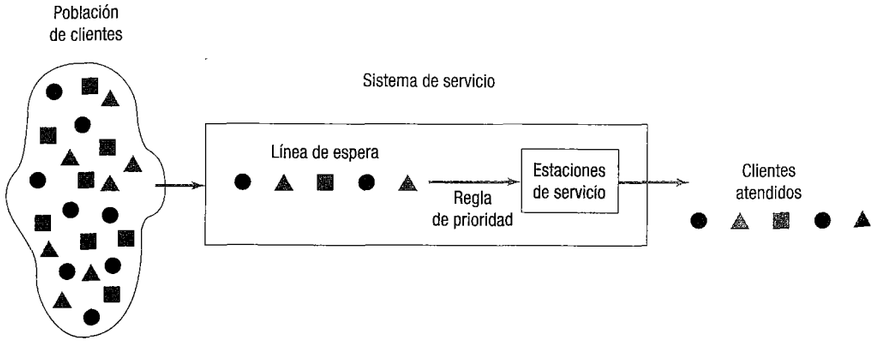
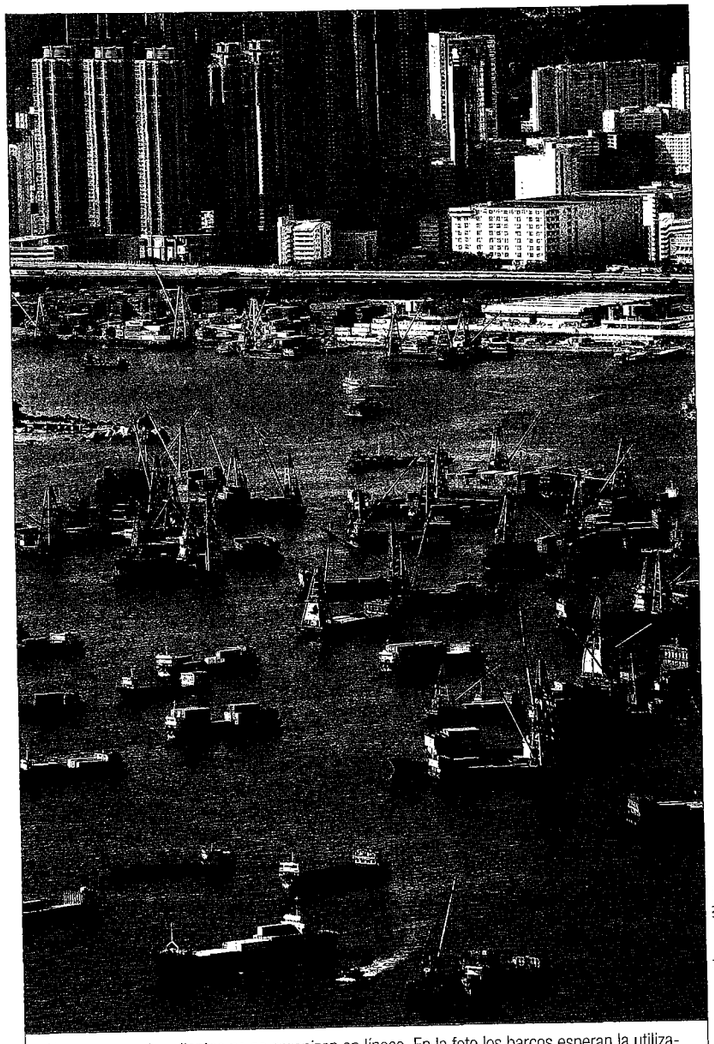


FIGURA B.1 ▶
Elementos básicos de los modelos de líneas de espera

De otra manera, una población de clientes *infinita* es una en la que el número de clientes en el sistema no afecta la tasa a la que la población genera nuevos clientes. Por ejemplo, considere una operación de órdenes por correo para la cual la población de clientes consiste en los compradores que reciben un catálogo de productos vendidos por la compañía. Como la población de clientes es tan grande y solo una fracción de los compradores coloca órdenes en un momento dado, el número de órdenes nuevas que genera no es afectado por el número de órdenes en espera de servicio o en proceso de ser servidas por el sistema. En este caso, se dice que la población de clientes es infinita.

Los clientes en las líneas de espera pueden ser *pacientes* o *impacientes*, lo cual no tiene nada que ver con el colorido lenguaje que un cliente usaría cuando espera en una fila mucho tiempo en un día "caliente". En el contexto de los problemas de líneas de espera, un cliente paciente es uno que entra al sistema y permanece en él hasta que recibe el servicio; un cliente impaciente es uno que decide no entrar al sistema (o se resiste), o bien, deja el sistema antes de que lo atiendan (desiste). Para los métodos utilizados en este suplemento, hacemos la suposición de simplificación de que todos los clientes son pacientes.


Istemount Images/Alamy

Algunas veces los clientes no se organizan en líneas. En la foto los barcos esperan la utilización de las instalaciones del puerto en Victoria Harbor, West Kowloon, Hong Kong.

El sistema de servicio

El sistema de servicio puede describirse por el número de líneas y el arreglo de las estaciones.

Número de líneas Las líneas de espera están diseñadas como solo *una línea* o como *varias líneas*. La figura B.2 muestra un ejemplo de cada arreglo. En general, las líneas únicas se utilizan en los mostradores de las líneas aéreas, en los bancos y en algunos restaurantes de comida rápida, mientras que las líneas múltiples se usan en los supermercados, en las operaciones de un autobanco y en las tiendas de descuento. Cuando se dispone de múltiples servidores y cada uno puede manejar las transacciones generales, el arreglo de fila única mantiene a los servidores con una ocupación uniforme y da a los clientes un sentido de equidad. Los clientes sienten que se les da el servicio con base en el momento en que llegaron y no en lo bien que eligieron una línea o servidor. El diseño de líneas múltiples funciona mejor cuando algunos servidores realizan un conjunto limitado de servicios. En este arreglo, los clientes seleccionan los servicios que necesitan y esperan en la línea en la que se proporciona ese servicio, como en un supermercado que abre cajas para personas que pagan en efectivo o que llevan menos de 10 artículos.

Algunas veces los clientes no se organizan en "líneas". Las máquinas que necesitan reparación en la planta de una fábrica se dejan en su lugar y el equipo de mantenimiento va a ellas. De cualquier forma, podemos pensar que esas máquinas se encuentran en una o varias filas, según el número de equipos de reparación y su especialización. Del mismo modo, los pasajeros que piden un taxi por teléfono forman una fila aunque esperen en diferentes lugares.

Arreglo de las estaciones de servicio Las estaciones de servicio consisten en el personal y el equipo necesario para realizar el servicio para el cliente. El arreglo de la instalación de servicio se describe por el número de canales y fases. Un **canal** es una o más estaciones requeridas para realizar un servicio dado. Una **etapa** es un solo paso al prestar el servicio. Algunos servicios requieren una sola etapa, mientras que otros requieren una secuencia de etapas. Entonces, una instala-

canal
Una o más estaciones requeridas para realizar un servicio dado.

etapa
Un solo paso al proporcionar un servicio.

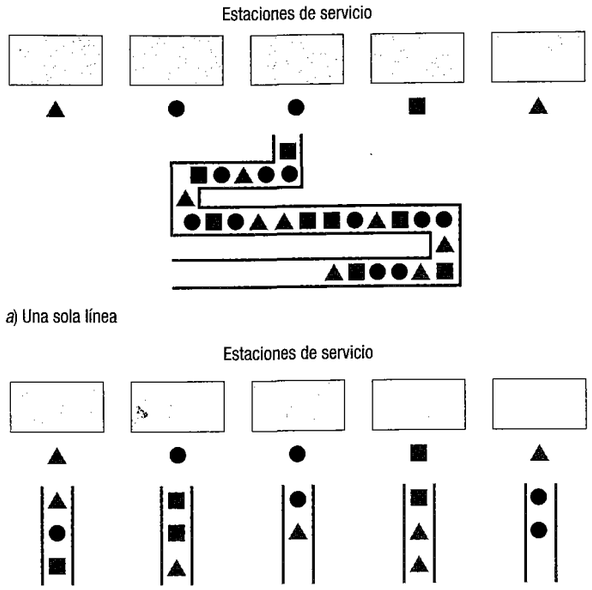


FIGURA B.2 ▲
Arreglo de líneas de espera

ción de servicio utiliza una combinación de canales y etapas. Los administradores eligen un arreglo basado en el volumen de clientes y la naturaleza de los servicios proporcionados. La figura B.3 muestra ejemplos de los cinco tipos básicos de arreglos de estaciones de servicio.

En el sistema de *un canal, una etapa*, todos los servicios demandados por un cliente los puede realizar una estación de un servidor. Los clientes forman una sola línea de espera y pasan por el servicio uno a la vez. Los ejemplos incluyen el autolavado automático y una máquina que debe procesar varios lotes de partes.

El arreglo *un canal, varias etapas* se utiliza cuando es mejor realizar los servicios en secuencia en más de una estación, pero el volumen de clientes u otras restricciones limitan el diseño a un canal. Los clientes forman una sola línea y proceden de manera secuencial de una estación a la siguiente. Un ejemplo de este arreglo es un AutoMac, donde la primera estación toma la orden, la segunda recibe el dinero y la tercera entrega la comida.

El arreglo de *varios canales, una sola etapa* se usa cuando la demanda es suficientemente grande para garantizar que se dé el mismo servicio en más de una estación o cuando los servicios ofrecidos por las estaciones son diferentes. Los clientes forman una o más líneas, dependiendo del diseño. En el diseño de una sola línea, el primer servidor que está disponible atiende a los clientes, como en la sala de cajas de un banco. Si cada canal tiene su propia fila, los clientes esperan hasta que el servidor de su línea pueda atenderlos, como en la instalación de un autobanco.

El arreglo de *varios canales, varias etapas* ocurre cuando se puede atender a los clientes en una de las estaciones de la primera etapa y luego requieren el servicio de una estación de la segunda etapa, y así sucesivamente. En algunos casos, los clientes no pueden cambiar canales una vez que comienza el servicio; en otros sí. Un ejemplo de este arreglo es la lavandería de autoservicio. Las lavadoras son las estaciones de la primera etapa y las secadoras las de la segunda etapa. Algunas de las lavadoras y secadoras quizás estén diseñadas para cargas muy pesadas, lo que proporciona al cliente opciones de canales.

Así, el problema de líneas de espera más complejo incluye clientes que tienen una secuencia única de servicios requeridos; por tanto, el servicio no se puede describir por etapas. Un arreglo *mixto* se utiliza en este tipo de casos. En el arreglo mixto, las líneas de espera se pueden desarrollar frente a cada estación, como en un centro médico, donde el paciente va a una sala de exámenes

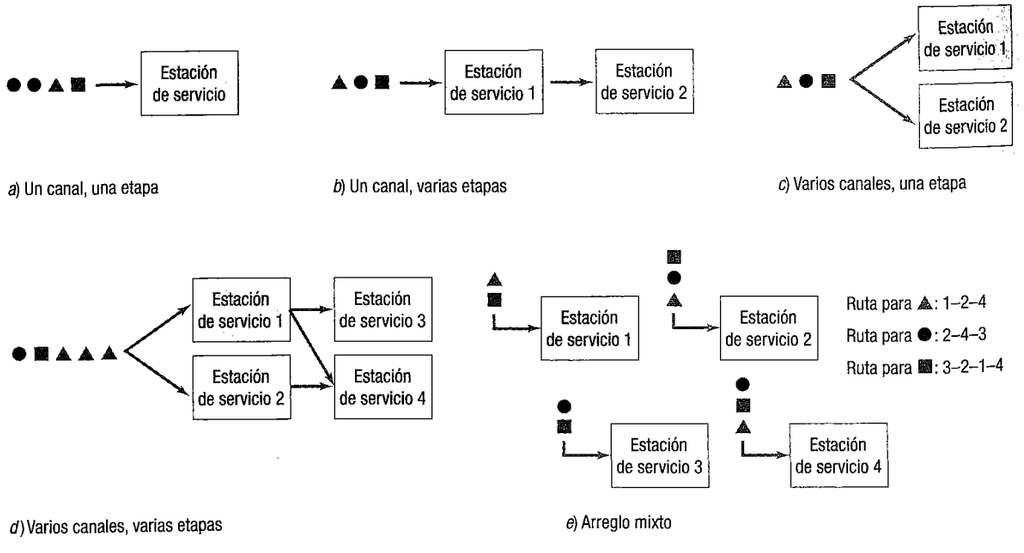


FIGURA B.3 ▲
Ejemplos de arreglos de instalaciones de servicio

para que una enfermera le tome la presión y el peso, regresa a la sala de espera hasta que el médico lo vea y después de la consulta procede al laboratorio a para dejar una muestra de sangre, a radiología para que le tomen una placa de rayos X o a la farmacia para recoger los medicamentos, dependiendo de sus necesidades específicas.

Regla de prioridad

La regla de prioridad determina qué cliente es el siguiente al que se atiende. La mayoría de los sistemas que se encuentran utilizan la regla: "Primero en entrar, primero en servir" (PEPS). El cliente a la cabeza de la línea tiene la prioridad más alta y el cliente que llega al último tiene la prioridad más baja. Otras disciplinas de prioridad pueden tomar al cliente con la fecha de entrega prometida más cercana (FEC) o al cliente con el tiempo de proceso esperado más corto TPC.[1]

Una **disciplina con interrupción** es una regla que permite a un cliente de mayor prioridad interrumpir el servicio de otro cliente. Por ejemplo, en la sala de urgencias de un hospital, los pacientes con las lesiones que más amenazan la vida reciben tratamiento primero, sin importar el orden de llegada. El modelado de sistemas con disciplinas de prioridad complejas suele hacerse con simulación por computadora.

disciplina con interrupción
Regla que permite al cliente de una prioridad más alta interrumpir el servicio de otro cliente.

Distribuciones de probabilidad

Las fuentes de variación en los problemas de líneas de espera vienen de las variables aleatorias de clientes y las variaciones en los tiempos de servicio. Cada una de estas fuentes se describe con una distribución de probabilidad.

Distribución de las llegadas

Los clientes llegan a las estaciones de servicio de manera aleatoria. La variabilidad de las llegadas de clientes con frecuencia se describe mediante una distribución Poisson, que especifica la probabilidad de que lleguen n clientes en el periodo T:

$$P_n = \frac{(\lambda T)^n}{n!} e^{-\lambda T} \text{ para } n = 0, 1, 2, \ldots$$

donde:

P_n = probabilidad de n llegadas en el periodo T
λ = número promedio de llegadas de clientes por periodo
e = 2.7183

La media de la distribución Poisson es λT. La distribución Poisson es una distribución discreta; esto es, las probabilidades se dan para un número específico de llegadas por unidad de tiempo.

EJEMPLO B.1 **Cálculo de la probabilidad de la llegada de clientes**

La administración está rediseñando el proceso de servicio a clientes en una tienda de departamentos grande, donde es importante acomodar cuatro clientes a la vez. Los clientes llegan al mostrador a una tasa de dos clientes por hora. ¿Cuál es la probabilidad de que lleguen cuatro clientes durante una hora?

SOLUCIÓN
En este caso $\lambda = 2$ clientes por hora, $T = 1$ hora y $n = 4$ clientes. La probabilidad de que lleguen cuatro clientes en una hora cualquiera es:

$$P_4 = \frac{[2(1)]^4}{4!} e^{-2(1)} = \frac{16}{24} e^{-2} = 0.090$$

PUNTO DE DECISIÓN
El gerente de servicio a clientes utiliza esta información para determinar los requerimientos de espacio para el mostrador y el área de espera. Existe una probabilidad relativamente pequeña de que lleguen cuatro clientes en una hora dada. En consecuencia, la capacidad de asientos para dos o tres clientes debe ser más que suficiente a menos que el tiempo para servir a cada cliente sea largo. Debe hacerse un análisis más completo de los tiempos de servicio.

[1]Nos enfocamos en PEPS en este suplemento. Vea una presentación adicional de PEPS y FEC en el capítulo 15, "Planeación y programación de operaciones". Vea también en el suplemento J, "Programación de operaciones", TPC y reglas adicionales.

tiempos entre llegadas
Tiempo que transcurre entre las llegadas de clientes.

Otra manera de especificar la distribución de las llegadas es hacerlo en términos de los **tiempos entre llegadas**; es decir, el tiempo que transcurre entre las llegadas de los clientes. Si la población genera clientes de acuerdo con una distribución Poisson, la *distribución exponencial* describe la probabilidad de que el siguiente cliente llegue en los siguientes T periodos. Como la distribución exponencial también describe los tiempos de servicio, se analizarán los detalles de esta distribución en la siguiente sección.

Distribución de los tiempos de servicio

La distribución exponencial describe la probabilidad de que el tiempo de servicio de un cliente en una estación dada no se mayor que T periodos. La probabilidad se puede calcular usando la siguiente fórmula

$$P(t \leq T) = 1 - e^{-\mu T}$$

donde:

μ = número promedio de clientes que completan su servicio por periodo

t = tiempo de servicio del cliente

T = tiempo de servicio meta

La media de la distribución de los tiempos de servicio es $1/\mu$, y la varianza es $(1/\mu)2$. Cuando T crece, la probabilidad de que el tiempo de servicio sea menor que T se acerca a 1.0.

Para simplificar, veremos el arreglo de un solo canal, una sola etapa.

EJEMPLO B.2 Cálculo de la probabilidad del tiempo de servicio

La administración de la tienda de departamentos del ejemplo B.1 debe determinar si se necesita más capacitación para el empleado de servicio a clientes. El empleado del mostrador puede servir un promedio de tres clientes por hora. ¿Cuál es la probabilidad de que un cliente requiera menos de 10 minutos de servicio?

SOLUCIÓN

Debemos contar con todos los datos en las mismas unidades de tiempo. Como $\mu = 3$ clientes por hora, convertimos los tiempos en minutos a horas, o sea, $T = 10$ minutos = 10/60 horas = 0.617 horas. Entonces,

$$P(t \leq T) = 1 - e^{\mu T}$$

$$P(t \leq 0.167 \text{ horas}) = 1 - e^{-3(0.167)} = 1 - 0.61 = 0.39$$

PUNTO DE DECISIÓN

La probabilidad de que el cliente requiera solo 10 minutos o menos no es alta, lo que deja la posibilidad de que los clientes experimenten largos retrasos. La administración debe considerar capacitación adicional para el empleado, de manera que se reduzca el tiempo que le toma procesar la petición de un cliente.

Algunas características de la distribución exponencial no siempre conforman una situación real. El modelo de la distribución exponencial se basa en la suposición de que cada tiempo de servicio es independiente de los que le preceden. Sin embargo, en la vida real la productividad puede mejorar mientras que los servidores humanos aprenden en el trabajo. Otra suposición que fundamenta el modelo es que los tiempos de servicio muy pequeños y muy largos, son posibles. En la vida real, las situaciones a menudo requieren un tiempo de inicio fijo, cierta disminución en el tiempo de servicio total o tiempos de servicio casi constantes.

Empleo de los modelos de líneas de espera para analizar operaciones

Los administradores de operaciones utilizan modelos de líneas de espera para equilibrar las ganancias que pueden surgir de una mayor eficiencia del sistema de servicio contra los costos de realizarlo. Además, los administradores deben considerar los costos de *no* mejorar el sistema; líneas de espera largas o tiempos de espera altos podrían ocasionar que los clientes desistan y se marchen por lo tanto, deben preocuparse por las siguientes características operativas del sistema.

1. *Longitud de la línea.* El número de clientes en la línea de espera refleja una de dos condiciones. Las líneas cortas pueden significar buen servicio al cliente o demasiada capacidad. De la misma manera, las líneas largas indican una eficiencia baja en el servicio o la necesidad de incrementar la capacidad.
2. *Número de clientes.* El número de clientes en la línea y recibiendo servicio también se relaciona con la eficiencia y capacidad del servicio. Un número grande de clientes en el sistema ocasiona congestión y el resultado podría ser insatisfacción del cliente, a menos que se agregue más capacidad.

3. *Tiempo de espera en la línea.* Las líneas largas no siempre indican tiempos de espera largos. Si la tasa de servicio es rápida, una línea larga se puede servir con eficiencia. Sin embargo, cuando los tiempos de espera parecen largos, los clientes perciben la calidad del servicio como mala. Los administradores intentan cambiar la tasa de llegada de los clientes o diseñar el sistema, para hacer que los tiempos de espera parezcan más cortos de lo que son en realidad. Por ejemplo, en Walt Disney World, los clientes en línea para entrar a un juego están entretenidos con videos y se les informa cuál es el tiempo estimado de espera, esto parece ayudarle a soportar la espera.
4. *Tiempo total en el sistema.* El tiempo transcurrido total desde la entrada al sistema hasta la salida del mismo puede indicar problemas con los clientes, la eficiencia del servidor o la capacidad. Si algunos clientes pasan demasiado tiempo en el sistema de servicio, quizá sea necesario cambiar la disciplina de prioridades, aumentar la productividad o ajustar la capacidad de alguna manera.
5. *Utilización de la instalación de servicio.* La utilización colectiva de las instalaciones de servicio refleja el porcentaje de tiempo que están ocupados. La meta de la administración es mantener una alta utilización y rentabilidad sin afectar en forma adversa las otras características de la operación.

El mejor método para analizar un problema de líneas de espera es relacionar las cinco características de operación y sus alternativas con dólares; pero llegar a cifras en dólares para algunas características (como el tiempo de espera de un comprador en el supermercado) es difícil. En esos casos, el analista debe ponderar el costo de implementar la alternativa bajo consideración contra una evaluación subjetiva del costo de *no* hacer el cambio.

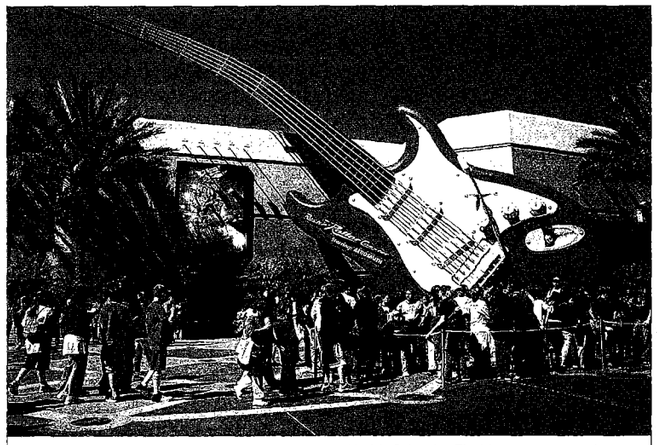
Ahora presentamos tres modelos y algunos ejemplos que muestran cómo pueden ayudar los modelos de líneas de espera a los administradores de operaciones en su toma de decisiones. Analizamos problemas que requieren un solo servidor, múltiples servidores y modelos de fuente finita, todos los cuales tienen una sola etapa. Las referencias para modelos más avanzados se citan al final de este suplemento.

Modelo de un servidor

El modelo más sencillo de líneas de espera incluye un solo servidor y una sola línea de clientes. Para especificar más el modelo, hacemos las siguientes suposiciones:

1. La población de clientes es infinita y todos los clientes tienen paciencia.
2. Los clientes llegan de acuerdo con una distribución Poisson, con tasa media de llegadas λ.
3. La distribución del servicio es exponencial, con una tasa media de servicio μ.
4. La tasa media de servicio es mayor que la tasa media de llegadas.
5. Los clientes son servidos según la disciplina primero en entrar, primero en servir.
6. La longitud de la línea de espera es ilimitada.

Con estas suposiciones, podemos aplicar varias fórmulas que describen las características operativas del sistema.



Melvyn Longhurst/Alamy

Los visitantes de los Estudios MGM en Disney World, Orlando, Florida, esperan pacientemente en la fila de la montaña rusa del grupo de rock Aerosmith, que es un ejemplo de un sistema de un canal, una etapa.

ρ = utilización promedio del sistema

$$= \frac{\lambda}{\mu}$$

P_n = probabilidad de n clientes en el sistema

$$= (1 - \rho)\rho^n$$

L = número promedio de clientes en el sistema de servicio

$$= \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$$

L_q = número promedio de clientes en la línea de espera

$$= \rho L$$

W = tiempo promedio en el sistema, incluyendo servicio

$$= \frac{1}{\mu - \lambda}$$

W_q = tiempo promedio de espera en la línea

$$= \rho W$$

tiempos entre llegadas
Tiempo que transcurre entre las llegadas de clientes.

Otra manera de especificar la distribución de las llegadas es hacerlo en términos de los **tiempos entre llegadas**; es decir, el tiempo que transcurre entre las llegadas de los clientes. Si la población genera clientes de acuerdo con una distribución Poisson, la *distribución exponencial* describe la probabilidad de que el siguiente cliente llegue en los siguientes T periodos. Como la distribución exponencial también describe los tiempos de servicio, se analizarán los detalles de esta distribución en la siguiente sección.

Distribución de los tiempos de servicio

La distribución exponencial describe la probabilidad de que el tiempo de servicio de un cliente en una estación dada no se mayor que T periodos. La probabilidad se puede calcular usando la siguiente fórmula

$$P(t \leq T) = 1 - e^{-\mu T}$$

donde:

μ = número promedio de clientes que completan su servicio por periodo
t = tiempo de servicio del cliente
T = tiempo de servicio meta

La media de la distribución de los tiempos de servicio es $1/\mu$, y la varianza es $(1/\mu)2$. Cuando T crece, la probabilidad de que el tiempo de servicio sea menor que T se acerca a 1.0.

Para simplificar, veremos el arreglo de un solo canal, una sola etapa.

EJEMPLO B.2 Cálculo de la probabilidad del tiempo de servicio

La administración de la tienda de departamentos del ejemplo B.1 debe determinar si se necesita más capacitación para el empleado de servicio a clientes. El empleado del mostrador puede servir un promedio de tres clientes por hora. ¿Cuál es la probabilidad de que un cliente requiera menos de 10 minutos de servicio?

SOLUCIÓN

Debemos contar con todos los datos en las mismas unidades de tiempo. Como $\mu = 3$ clientes por hora, convertimos los tiempos en minutos a horas, o sea, $T = 10$ minutos = 10/60 horas = 0.617 horas. Entonces,

$$P(t \leq T) = 1 - e^{\mu T}$$

$$P(t \leq 0.167 \text{ horas}) = 1 - e^{-3(0.167)} = 1 - 0.61 = 0.39$$

PUNTO DE DECISIÓN

La probabilidad de que el cliente requiera solo 10 minutos o menos no es alta, lo que deja la posibilidad de que los clientes experimenten largos retrasos. La administración debe considerar capacitación adicional para el empleado, de manera que se reduzca el tiempo que le toma procesar la petición de un cliente.

Algunas características de la distribución exponencial no siempre conforman una situación real. El modelo de la distribución exponencial se basa en la suposición de que cada tiempo de servicio es independiente de los que le preceden. Sin embargo, en la vida real la productividad puede mejorar mientras que los servidores humanos aprenden en el trabajo. Otra suposición que fundamenta el modelo es que los tiempos de servicio muy pequeños y muy largos, son posibles. En la vida real, las situaciones a menudo requieren un tiempo de inicio fijo, cierta disminución en el tiempo de servicio total o tiempos de servicio casi constantes.

Empleo de los modelos de líneas de espera para analizar operaciones

Los administradores de operaciones utilizan modelos de líneas de espera para equilibrar las ganancias que pueden surgir de una mayor eficiencia del sistema de servicio contra los costos de realizarlo. Además, los administradores deben considerar los costos de *no* mejorar el sistema; líneas de espera largas o tiempos de espera altos podrían ocasionar que los clientes desistan y se marchen por lo tanto, deben preocuparse por las siguientes características operativas del sistema.

1. *Longitud de la línea.* El número de clientes en la línea de espera refleja una de dos condiciones. Las líneas cortas pueden significar buen servicio al cliente o demasiada capacidad. De la misma manera, las líneas largas indican una eficiencia baja en el servicio o la necesidad de incrementar la capacidad.
2. *Número de clientes.* El número de clientes en la línea y recibiendo servicio también se relaciona con la eficiencia y capacidad del servicio. Un número grande de clientes en el sistema ocasiona congestión y el resultado podría ser insatisfacción del cliente, a menos que se agregue más capacidad.

3. *Tiempo de espera en la línea.* Las líneas largas no siempre indican tiempos de espera largos. Si la tasa de servicio es rápida, una línea larga se puede servir con eficiencia. Sin embargo, cuando los tiempos de espera parecen largos, los clientes perciben la calidad del servicio como mala. Los administradores intentan cambiar la tasa de llegada de los clientes o diseñar el sistema, para hacer que los tiempos de espera parezcan más cortos de lo que son en realidad. Por ejemplo, en Walt Disney World, los clientes en línea para entrar a un juego están entretenidos con videos y se les informa cuál es el tiempo estimado de espera, esto parece ayudarle a soportar la espera.
4. *Tiempo total en el sistema.* El tiempo transcurrido total desde la entrada al sistema hasta la salida del mismo puede indicar problemas con los clientes, la eficiencia del servidor o la capacidad. Si algunos clientes pasan demasiado tiempo en el sistema de servicio, quizá sea necesario cambiar la disciplina de prioridades, aumentar la productividad o ajustar la capacidad de alguna manera.
5. *Utilización de la instalación de servicio.* La utilización colectiva de las instalaciones de servicio refleja el porcentaje de tiempo que están ocupados. La meta de la administración es mantener una alta utilización y rentabilidad sin afectar en forma adversa las otras características de la operación.

El mejor método para analizar un problema de líneas de espera es relacionar las cinco características de operación y sus alternativas con dólares; pero llegar a cifras en dólares para algunas características (como el tiempo de espera de un comprador en el supermercado) es difícil. En esos casos, el analista debe ponderar el costo de implementar la alternativa bajo consideración contra una evaluación subjetiva del costo de *no* hacer el cambio.

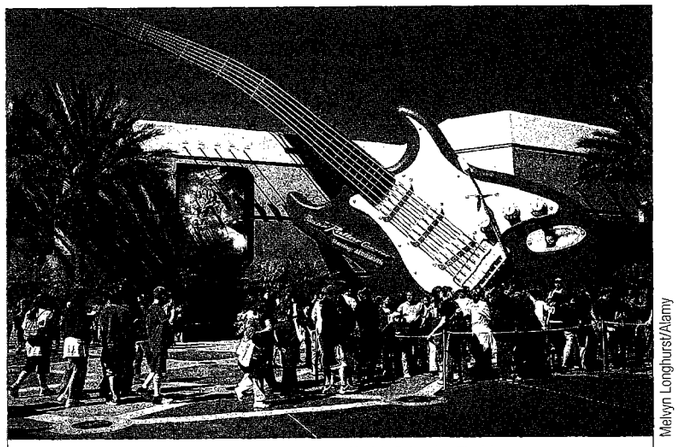
Ahora presentamos tres modelos y algunos ejemplos que muestran cómo pueden ayudar los modelos de líneas de espera a los administradores de operaciones en su toma de decisiones. Analizamos problemas que requieren un solo servidor, múltiples servidores y modelos de fuente finita, todos los cuales tienen una sola etapa. Las referencias para modelos más avanzados se citan al final de este suplemento.

Modelo de un servidor

El modelo más sencillo de líneas de espera incluye un solo servidor y una sola línea de clientes. Para especificar más el modelo, hacemos las siguientes suposiciones:

1. La población de clientes es infinita y todos los clientes tienen paciencia.
2. Los clientes llegan de acuerdo con una distribución Poisson, con tasa media de llegadas λ.
3. La distribución del servicio es exponencial, con una tasa media de servicio μ.
4. La tasa media de servicio es mayor que la tasa media de llegadas.
5. Los clientes son servidos según la disciplina primero en entrar, primero en servir.
6. La longitud de la línea de espera es ilimitada.

Con estas suposiciones, podemos aplicar varias fórmulas que describen las características operativas del sistema.


Melvyn Longhurst/Alamy

Los visitantes de los Estudios MGM en Disney World, Orlando, Florida, esperan pacientemente en la fila de la montaña rusa del grupo de rock Aerosmith, que es un ejemplo de un sistema de un canal, una etapa.

ρ = utilización promedio del sistema
$= \frac{\lambda}{\mu}$

P_n = probabilidad de n clientes en el sistema
$= (1 - \rho)\rho^n$

L = número promedio de clientes en el sistema de servicio
$= \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$

L_q = número promedio de clientes en la línea de espera
$= \rho L$

W = tiempo promedio en el sistema, incluyendo servicio
$= \frac{1}{\mu - \lambda}$

W_q = tiempo promedio de espera en la línea
$= \rho W$

EJEMPLO B.3 Cálculo de características de operación de un sistema de un canal, una etapa

MyOMLab
El modelo activo B.1 en MyOMLab proporciona información adicional del modelo de un servidor y sus aplicaciones para este problema.

La administradora de un supermercado en la comunidad de personas retiradas de Sunnyville está interesada en dar un buen servicio a los ciudadanos de edad avanzada que compran en su tienda. Actualmente, la tienda tiene una caja separada para los adultos mayores. En promedio, llegan 30 de ellos por hora a la caja, de acuerdo con una distribución Poisson y el servicio tiene una tasa promedio de 35 clientes por hora, con tiempos de servicio exponenciales. Encuentre las siguientes características de operación:

a) La probabilidad de que haya cero clientes en el sistema.

b) La utilización promedio del empleado de la caja.

c) El número promedio de clientes en el sistema.

d) El número promedio de clientes en la línea.

e) El tiempo promedio que pasa un cliente en el sistema.

f) El tiempo de espera promedio en la línea.

SOLUCIÓN

La caja se puede modelar como un sistema de un canal, una etapa. La figura B.4 muestra los resultados del solver de *Líneas de espera* de OM Explorer. Los cálculos manuales de las ecuaciones para el *modelo de un servidor* se muestran en el problema resuelto al final del suplemento.

FIGURA B.4 ▶
Solver para Líneas de espera para el sistema de un canal, una etapa

Servidores	(El número de servidores s se supone 1 en el modelo de un canal)	
Tasa de llegada (λ)	30	
Tasa de servicio (μ)	35	
Probabilidad de cero clientes en el sistema (P_0)		0.1429
Probabilidad de exactamente 0 clientes en el sistema		0.1429
Utilización promedio del servidor (ρ)		0.8571
Número promedio de clientes en el sistema (L)		6.0000
Número promedio de clientes en la línea (L_q)		5.1429
Tiempo promedio de espera y servicio en el sistema (W)		0.2000
Tiempo promedio de espera en la línea (W_q)		0.1714

Tanto el tiempo promedio de espera en el sistema (W) como el tiempo promedio en la línea de espera (W_q) se expresan en horas. Para convertir los resultados a minutos, simplemente se multiplican por 60 minutos/hora. Por ejemplo, $W = 0.20\ (60) = 12.00$ minutos y $W_q = 0.1714\ (60) = 10.28$ minutos.

EJEMPLO A.4 Análisis de las tasas de servicio con el modelo de un servidor

MyOMLab
El tutor B.1 en MyOMLab proporciona un nuevo ejemplo para practicar el modelo de un servidor.

La administradora del supermercado de Sunnyville del ejemplo B.3 desea respuestas a las siguientes preguntas:

a) ¿Qué tasa de servicio se requeriría para que los clientes tuvieran un promedio de solo 8 minutos en el sistema?

b) Para esa tasa de servicio, ¿cuál es la probabilidad de tener más de cuatro clientes en el sistema?

c) ¿Qué tasa de servicio se requeriría para tener una probabilidad de tan solo 10% de tener más de cuatro clientes en el sistema?

SOLUCIÓN

El solver de *Líneas de espera* de OM Explorer se puede usar de manera iterativa para responder las preguntas. Se resuelve manualmente el problema.

a) Se utiliza la ecuación para el tiempo promedio en el sistema y se despeja μ.

$$W = \frac{1}{\mu - \lambda}$$

$$8 \text{ minutos} = 0.133 \text{ hora} = \frac{1}{\mu - 30}$$

$$0.133\mu - 0.1333(30) = 1$$

$$\mu = 37.52 \text{ clientes/hora}$$

b) La probabilidad de más de cuatro clientes en el sistema es igual a 1 menos la probabilidad de cuatro o menos clientes en el sistema.

$$P = 1 - \sum_{n=0}^{4} P_n$$

$$= 1 - \sum_{n=0}^{4} (1-\rho)\rho^n$$

y

$$\rho = \frac{30}{37.52} = 0.80$$

Entonces,

$$P = 1 - 0.2(1 + 0.8 + 0.8^2 + 0.8^3 + 0.8^4)$$
$$= 1 - 0.672 = 0.328$$

Por lo tanto, existe casi 33% de oportunidad de que haya más de cuatro clientes en el sistema.

c) Se usa la misma lógica que en el inciso *b*), excepto que ahora la variable de decisión es μ. La manera más sencilla de proceder es encontrar el promedio de utilización correcto primero y luego despejar la tasa de servicio.

$$P = 1 - (1-\rho)(1 + \rho + \rho^2 + \rho^3 + \rho^4)$$
$$= 1 - (1 + \rho + \rho^2 + \rho^3 + \rho^4) + \rho(1 + \rho + \rho^2 + \rho^3 + \rho^4)$$
$$= 1 - 1 - \rho - \rho^2 - \rho^3 - \rho^4 + \rho + \rho^2 + \rho^3 + \rho^4 + \rho^5$$
$$= \rho^5$$

es decir,

$$\rho = P^{1/5}$$

Si $P = 0.10$,

$$\rho = (0.10)^{1/5} = 0.63$$

Por lo tanto, para una tasa de utilización de 63%, la probabilidad de que haya más de cuatro clientes en el sistema es 10%. Para $\lambda = 30$, tasa media de servicio debe ser:

$$\frac{30}{\mu} = 0.63$$

$$\mu = 47.62 \text{ clientes/hora}$$

PUNTO DE DECISIÓN

La tasa de servicio solo debe aumentar modestamente para lograr la meta de ocho minutos. Sin embargo, la probabilidad de tener más de cuatro clientes en el sistema es demasiado alta. La administradora debe ahora encontrar una forma de aumentar la tasa de servicio de 35 por hora a cerca de 48 por hora. Puede aumentar la tasa de servicio de varias maneras, que van desde contratar a un estudiante de secundaria o preparatoria para ayudar a empacar la mercancía hasta instalar cajas de autopago.

Modelo de servidores múltiples

Con el modelo de servidores múltiples, los clientes forman una sola línea y eligen el primer servidor que esté disponible. El sistema de servicio tiene solo una etapa. Hacemos la siguiente suposición, además de las del modelo de un servidor. Se tienen s servidores y la distribución de servicio para cada uno es exponencial, con tiempo medio de servicio $1/\mu$. Siempre debe cumplirse que $s\mu$ excede a λ.

EJEMPLO B.5 Estimación del tiempo ocioso y los costos de operación por horas con el modelo de servidores múltiples

MyOMLab
El tutor B.2 en MyOMLab proporciona un nuevo ejemplo para practicar el modelo de varios servidores.

La administración de la terminal en Verona, Wisconsin, del servicio de mensajería American Parcel Service está preocupada por el tiempo que los camiones están ociosos (no en camino de entrega), que la compañía define como en espera de, o en carga o descarga en la terminal. Esta terminal opera con cuatro bahías de descarga. Cada bahía requiere un equipo de dos empleados y cada equipo gana $30 por hora. El costo estimado de un camión ocioso es $50 por hora. Los camiones llegan a una tasa media de tres por hora, de acuerdo con una distribución Poisson. En promedio, un equipo puede descargar la caja de un semirremolque en una hora, con tiempos de servicio exponenciales. ¿Cuál es el costo por hora total de operar el sistema?

MyOMLab
El modelo activo B.2 en MyOMLab proporciona información adicional del modelo de varios servidores y sus aplicaciones para este problema.

SOLUCIÓN
El *modelo de varios servidores* para $s = 4$, $\mu = 1$ y $\lambda = 3$ es apropiado. Para encontrar el costo total de la mano de obra y los camiones ociosos, debemos calcular el número promedio de camiones en el sistema en cualquier tiempo.

La figura B.5 presenta los resultados para el problema de American Parcel Service usando Solver de *Líneas de espera* en OM Explorer. Los resultados muestran que en el diseño de las cuatro bahías se utilizará 75% del tiempo y que el número promedio de camiones, ya sea en servicio o en la línea de espera, es de 4.53 camiones; esto es, en promedio en cualquier tiempo, hay 4.53 camiones ociosos. Podemos calcular los costos por hora de mano de obra y camiones ociosos:

Costo de mano de obra:	$30(s) = $30(4) = $120.00
Costo de camión ocioso:	$50(L) = $50(4.53) = $226.50
	Costo total por hora = $346.50

FIGURA B.5 ▶
Solver de Líneas de espera para el modelo de varios servidores

Servidores	4	
Tasa de llegadas (λ)	3	
Tasa de servicio (μ)	1	
Probabilidad de cero clientes en el sistema (P_0)		0.0377
Probabilidad de exactamente 0 clientes en el sistema		0.0377
Utilización promedio de los servidores (*p*)		0.7500
Número promedio de clientes en el sistema (L)		4.5283
Número promedio de clientes en la línea (L_q)		1.5283
Tiempo promedio de espera y servicio en el sistema (W)		1.5094
Tiempo promedio de espera en la línea (W_q)		0.5094

PUNTO DE DECISIÓN
La administración debe ahora evaluar si $346.50 por día en esta operación es aceptable. Intentar reducir los costos eliminando equipos solo aumentará el tiempo de espera de los camiones, que es más costoso por hora que los equipos. Sin embargo, la tasa de servicio puede aumentar con mejores métodos de trabajo; por ejemplo, *L* se reduce y la operación diaria costará menos.

Ley de Little

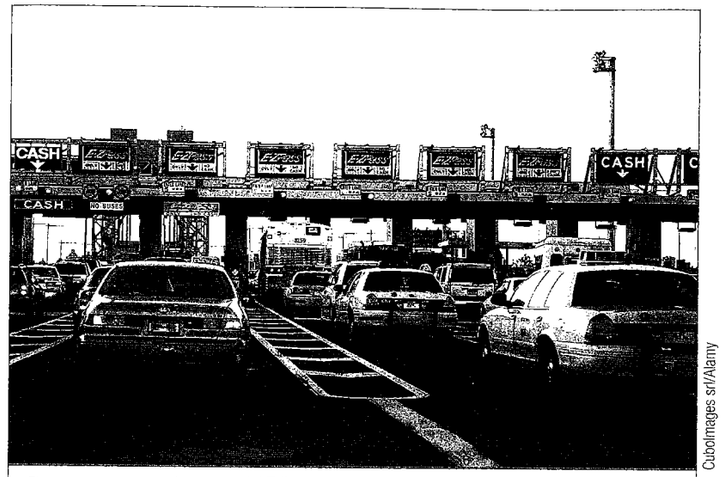
ley de Little
Una ley fundamental que relaciona el número de clientes en un sistema de líneas de espera con la tasa de llegadas y el tiempo de espera de los clientes.

Una de las leyes más prácticas y fundamentales en la teoría de líneas de espera es la **ley de Little**, que relaciona el número de clientes en el sistema de líneas de espera con la tasa de llegadas y el tiempo de espera de los clientes. Con la misma notación utilizada para el modelo de un servidor, la ley de Little se expresa como $L = \lambda W$ o $L_q = \lambda W_q$. Esta relación se cumple para una variedad amplia de procesos de llegadas, distribuciones de servicio y números de servidores. La ventaja práctica de la ley de Little es que solo se requiere conocer dos de los parámetros para estimar el tercero. Por ejemplo, considere al administrador de una instalación que otorga las placas a vehículos de motor que recibe muchas quejas acerca del tiempo que las personas deben pasar ya sea para renovar las licencias o para obtener placas. Sería difícil obtener datos de los tiempos que los clientes individuales pasan en la instalación. Sin embargo, el administrador puede hacer que un asistente supervise el número de personas que llegan cada hora y calcule el promedio (λ). El administrador también puede periódicamente contar el número de personas en el área de espera y en las estaciones de servicio, así como calcular el promedio (*L*). Aplicando la ley de Little, el administrador estima *W*, el tiempo promedio que cada persona pasa en la instalación. Por ejemplo, si llegan 40 clientes por hora y el número promedio de clientes que se sirven o que esperan servicio es 30, el tiempo promedio que cada cliente pasa en la instalación se calcula como:

$$\text{Tiempo promedio en la instalación} = W = \frac{L \text{ clientes}}{\lambda \text{ clientes / hora}} = \frac{30}{40} = 0.75 \text{ horas o } 45 \text{ minutos}$$

Si el tiempo que un cliente pasa en la instalación no es razonable, el administrador se podría dedicar a agregar capacidad, o bien, a mejorar los métodos de trabajo para reducir el tiempo de servicio de los clientes.

De la misma manera, la ley de Little se puede usar para procesos de manufactura. Suponga que un gerente de producción conoce el tiempo promedio que una unidad pasa en el proceso de manufactura (*W*) y el número promedio de unidades por hora que llegan al proceso (λ). El gerente de producción podría entonces estimar el promedio de trabajo en proceso (*L*) utilizando la ley de Little. El *trabajo en proceso* (WIP, *work in progress*) consiste en artículos, como componentes o ensambles, necesarios para producir un producto final en la manufactura.



Cubolmages srl/Alamy

Filas de vehículos en la caseta del Tribourough Bridge en la ciudad de Nueva York. Este es un ejemplo de un sistema de varios canales, una etapa, donde algunos canales están dedicados a servicios especiales.

Por ejemplo, si el tiempo promedio que pasa una caja de velocidades utilizada en un motor fuera de borda en un centro de maquinado es tres horas y llegan un promedio de tres cajas por hora al centro de maquinado, el número promedio de cajas de velocidades esperando ser procesadas (o trabajo en proceso) en el centro se puede calcular como:

$$\text{Trabajo en proceso} = L = \lambda W = 5 \text{ cajas/hora (3 horas)} = 15 \text{ cajas de velocidades}$$

Al conocer la relación entre la tasa de llegadas, el tiempo de entrega y el trabajo en proceso, el gerente tiene una base para medir los efectos de la mejora de procesos en la instalación. Por ejemplo, agregar cierta capacidad a un cuello de botella en el proceso disminuiría el tiempo de entrega promedio del producto al proceso, reduciendo así el inventario de trabajo en proceso.

Aun cuando la ley de Little se aplica a muchas situaciones del entorno, tanto de servicio como de manufactura, no se aplica a situaciones en las que la población de clientes es finita, tema que abordamos a continuación.

Modelo de fuente finita

Consideramos ahora la situación en la que todas, menos una de las suposiciones del modelo de un servidor son apropiadas. En este caso, la población es finita, tiene solo *N* clientes potenciales. Si *N* es más grande que 30 clientes, el modelo de un servidor con la suposición de población infinita puede ser adecuado. De otra manera, se utiliza el modelo de fuente finita.

EJEMPLO B.6 Análisis de costos de mantenimiento con un modelo de fuente finita

La Worthington Gear Company instaló un banco de 10 robots hace como tres años. Los robots aumentaron mucho la productividad de la mano de obra de la empresa, pero recientemente se ha enfocado la atención en el mantenimiento. La empresa no hace mantenimiento preventivo en los robots debido a la variabilidad en la distribución de las descomposturas. Cada máquina tiene distribución exponencial de descomposturas (entre llegadas) con un tiempo promedio entre fallas de 200 horas. Cada hora-máquina perdida cuesta $30, lo que significa que la empresa tiene que responder con rapidez a las fallas. La empresa tiene una persona de mantenimiento que necesita 10 horas en promedio para arreglar un robot. Los tiempos reales de mantenimiento siguen una distribución exponencial. La tasa de salarios es $10 por hora para la persona de mantenimiento, que puede asignarse a otros trabajos productivamente cuando no hay robots que arreglar. Determina el costo diario de mano de obra y el tiempo de descomposturas de los robots.

MyOMLab
El tutor B.3 en MyOMLab proporciona un nuevo ejemplo para practicar el modelo de fuente finita.

SOLUCIÓN
El *modelo de fuente finita* es apropiado para este análisis porque la población de clientes consiste en solo 10 máquinas y las otras suposiciones se cumplen. En este caso, $\lambda = 1/200$ o 0.005 fallas por hora y $\mu = 1/10 = 0.10$ robots por hora. Para calcular el costo de mano de obra y de fallas de robot es necesario estimar la utilización promedio de la persona de mantenimiento y *L*, el número promedio de robots en el sistema de mantenimiento en cualquier tiempo. OM Explorer o POM para Windows sirven para ayudar con los cálculos. La figura B.6

MyOMLab
El modelo activo B.3 en MyOMLab proporciona información adicional sobre el modelo de fuente finita y su aplicación en este problema.

muestra los resultados del problema de Worthigton Gear utilizando el solver de *Líneas de espera* en OM Explorer. Los resultados indican que la persona de mantenimiento está ocupada solo 46.2% del tiempo y que el número promedio de robots en espera de servicio o en reparación es 0.76. Sin embargo, un robot que falla pasará un promedio de 16.43 horas en el sistema de reparación, de las cuales 6.43 horas de ese tiempo está esperando servicio. Mientas que un robot puede pasar más de dos días con la persona de mantenimiento, esta persona tiene mucho tiempo ocioso con una tasa de utilización de solo 42.6%. Por eso solo hay un promedio de 0.76 robots en mantenimiento en cualquier tiempo.

FIGURA B.6 ▶
Solver de *Líneas de espera* para el modelo de fuente finita

Clientes	10	
Tasa de llegadas (λ)	0.005	
Tasa de servicio (μ)	0.1	
Probabilidad de cero clientes en el sistema (P_0)		0.5380
Probabilidad de [menos que] 0 clientes en el sistema		#N/A
Utilización promedio de los servidores (*p*)		0.4620
Número promedio de clientes en el sistema (L)		0.7593
Número promedio de clientes en la línea (L_q)		0.2972
Tiempo promedio de espera y servicio en el sistema (W)		16.4330
Tiempo promedio de espera en la línea (W_q)		6.4330

El costo diario de mano de obra y fallas de robots es:

Costo de mano de obra: ($10/hora) (8 horas/día)(0.462 utilización) = $36.96

Costo de robot ocioso: (0.76 robot) ($30/robot-hora) (8 horas/día) = 182.40

Costo total diario = $219.36

PUNTO DE DECISIÓN

El costo de mano de obra para la reparación de robots es solo 20% del costo de los robots ociosos. La administración puede considerar contratar una segunda persona por evento en caso de que más de un robot esté esperando reparación al mismo tiempo.

Líneas de espera y simulación

Para cada problema que analizamos con los modelos de líneas de espera, las llegadas deben tener una distribución Poisson (o tiempos entre llegadas exponenciales), los tiempos de servicio deben tener distribución exponencial y la disciplina de prioridad es primero en entrar, primero en servir. La teoría de líneas de espera se ha utilizado para desarrollar otros modelos en los que estos criterios no se cumplen, pero estos modelos son complejos. Para cada ejemplo, POM para Windows incluye un modelo con sistema de tamaño finito en el que los límites se colocan sobre el tamaño del sistema (capacidad de espera y servicio). También tiene varios modelos que relajan las suposiciones de la distribución de los tiempos de servicio. De cualquier manera, muchas veces la naturaleza de la población de clientes, las restricciones de la línea, la regla de prioridad, la distribución de tiempos de servicio y el arreglo de las estaciones son tales que la teoría de líneas de espera ya no es útil. En estos casos, con frecuencia se usa simulación. El suplemento E, "Simulación" de MyOMLab estudia lenguajes de simulación y paquetes para PC poderosos. Aquí se ilustrará el proceso de simulación con el software SimQuick (también incluido en MyOMLab).

Reuters/Corbis

Un pasajero, seleccionado al azar para revisión adicional, ayuda al personal de seguridad del Aeropuerto Internacional de Los Ángeles a examinar su equipaje. El proceso de seguridad del aeropuerto es un sistema de múltiples canales, múltiples etapas.

SimQuick SimQuick es un paquete fácil de usar que sencillamente es una hoja de Excel con algunos macros. Los modelos se pueden crear para una variedad de procesos simples, como líneas de espera, control de inventarios y proyectos. Consideraremos el proceso de seguridad de los pasajeros en una terminal de aeropuerto de tamaño mediano entre las 8 y las 10 de la mañana. El proceso funciona como sigue: los pasajeros que llegan al área de seguridad ingresan de inmediato a una sola línea. Después de esperar, cada pasajero pasa por una de dos estaciones de inspección, que incluye pasar por un detector de metales e introducir todo el equipaje de mano por un escáner. Al terminar esta inspección, 10% de los pasajeros se eligen de manera aleatoria para una inspección adicional, que implica un cateo y una búsqueda más detallada del equipaje de mano de la persona. Dos estaciones manejan esta inspección adicional y los pasajeros seleccionados pasan por una de ellas. La administración está interesada en examinar el efecto de incrementar el porcentaje de pasajeros que pasan por la segunda inspección. En particular, quieren comparar los tiempos de espera para la segunda inspección cuando 10%, luego 15% y después 20% de los pasajeros se seleccionan al azar. La administración también desea saber cómo afectaría los tiempos de espera abrir una tercera estación para la segunda inspección.

Un primer paso a simular este proceso con SimQuick es dibujar un diagrama de flujo del proceso usando los bloques de construcción de SimQuick. El programa tiene cinco bloques de construcción que se pueden combinar de muchas maneras. Una *entrada* se usa para modelar la llegada de los pasajeros al proceso de seguridad. Se utiliza un *amortiguador* para modelar cada una de las dos líneas de espera, una ante cada tipo de inspección, lo mismo que los pasajeros que terminan el proceso. Cada una de las cuatro estaciones de inspección se modela como una *estación de trabajo*. Por último, la selección aleatoria de pasajeros para la segunda inspección se modela con un *punto de decisión*. La figura B.7 muestra el diagrama de flujo.

La información que describe cada bloque de construcción se ingresa a las tablas de SimQuick. En este modelo, se tienen los tres tipos clave de información: **1.** cuándo llegan las personas a la entrada, **2.** cuánto tiempo requieren las inspecciones en las cuatro estaciones y **3.** qué porcentaje de pasajeros se están seleccionando para la inspección adicional. Toda esta información debe ingresarse a SimQuick en forma de distribuciones estadísticas. Los dos primeros tipos de información se determinan observando el proceso real de 8 a 10 de la mañana. El tercer tipo de información es una política de decisión (10, 15 o 20 por ciento).

El modelo original se corre 30 veces, simulando la llegada de los pasajeros entre 8 a.m. y 10 a.m. SimQuick recolecta y resume las estadísticas. La figura B.8 presenta algunos resultados clave para el modelo del proceso actual como salida de SimQuick (se recolectan muchas otras estadísticas que no se despliegan aquí).

Las cifras mostradas son promedios de las 30 simulaciones. El número 237.23 es el número promedio de pasajeros que entra a la línea 1 durante las dos horas simuladas. Las dos estadísticas de inventario medio indican que, en promedio, 5.97 pasajeros simulados estaban en la línea 1 y 0.10 en la línea 2. Las dos estadísticas de *tiempo de ciclo*, interpretadas aquí como el tiempo que un pasajero pasa en uno o más bloques de construcción de SimQuick, dicen que los pasajeros simulados en la línea 1 esperaron un promedio de 3.12 minutos, mientras que los de la línea 2 esperaron 0.53 minutos en promedio. La estadística de inventario final indica que, en promedio, 224.57 pasajeros pasaron por el proceso de seguridad en las dos horas simuladas. El siguiente paso es cambiar el porcentaje de pasajeros seleccionados para pasar por la segunda inspección a 15% y luego a 20%, y volver a correr el modelo. Por supuesto, estos cambios en el proceso aumentarán el tiempo promedio de la segunda inspección pero, ¿cuánto? El paso final es correr de nuevo estas simulaciones con una estación más y ver sus efectos en el tiempo de espera para la segunda inspección. Todos los detalles de este modelo (al igual que de muchos otros) aparecen en el libro *SimQuick: Process Simulation with Excel*, que se incluye con el software de SimQuick en MyOMLab.

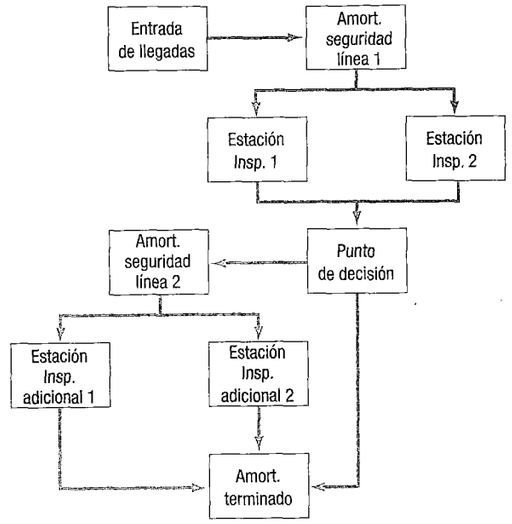


FIGURA B.7 ▲
Diagrama de flujo de pasajeros por el proceso de seguridad

Tipos de elementos	Nombres de elementos	Estadísticas	Medias globales
Entrada(s)	Puerta	Objetos entran a proceso	237.23
Amortiguadores	Línea 1	Inventario promedio	5.97
		Tiempo de ciclo promedio	3.12
	Línea 2	Inventario promedio	0.10
		Tiempo de ciclo promedio	0.53
Terminado	Inventario final		224.57

FIGURA B.8 ▲
Resultados de la simulación del proceso de seguridad para pasajeros

MyOMLab

Áreas de decisión para la administración

Después de analizar un problema de líneas de espera, la administración puede mejorar el sistema de servicio haciendo cambios en una o más de las siguientes áreas.

1. *Tasa de llegada.* La administración a menudo afecta la tasa de llegadas de los clientes, λ, mediante publicidad, promociones especiales o precios diferenciales. Por ejemplo, los hoteles Caribbean reducen sus precios por habitación durante la temporada caliente y lluviosa para atraer más clientes y aumentar su ocupación.
2. *Número de estaciones de servicio.* Al aumentar el número de estaciones de servicio, como depósitos de herramientas, casetas de pago o cajeros en el banco, o bien, dedicando algunas estaciones de una etapa a un conjunto único de servicios, la administración aumentaría la capacidad del sistema.

3. *Número de etapas.* Los administradores deciden la asignación de tareas de servicio a etapas secuenciales si determinan que dos estaciones de servicio secuenciales pueden ser más eficientes que una. Por ejemplo, en las líneas de ensamble una decisión se refiere al número de etapas o trabajadores necesarios a lo largo de la línea. Determinar el número de trabajadores requeridos también incluye asignar cierto conjunto de elementos de trabajo a cada uno. Cambiar el arreglo de la instalación suele aumentar la tasa de servicio, μ, de cada estación y la capacidad del sistema.
4. *Número de servidores por estación.* Los administradores influyen en la tasa de servicio asignando más de una persona a una estación de servicio.
5. *Eficiencia en el servicio.* Al ajustar la razón capital a mano de obra, diseñar métodos de trabajo mejorados o instituir programas de incentivos, la administración puede aumentar la eficiencia de los servidores asignados a una estación de servicio. Estos cambios se reflejan en μ.
6. *Regla de prioridad.* Los administradores establecen la regla de prioridad que se utiliza, y deciden si esta tiene una prioridad diferente para cada estación de servicio y si permiten interrupciones (si es así, en qué condiciones). Estas decisiones afectan los tiempos de espera de los clientes y la utilización de los servidores.
7. *Arreglo de líneas.* Los administradores pueden influir en los tiempos de espera del cliente y la utilización del servidor al decidir tener una sola línea para cada estación en una etapa de servicio dada.

Es evidente que estos factores se interrelacionan. Un ajuste en la tasa de llegadas de los clientes quizá tenga que ir acompañada de un aumento en la tasa de servicio, μ. Las decisiones acerca del número de estaciones, el número de etapas y los arreglos de las líneas de espera quizá también estén relacionados.

REPASO DE LAS METAS DE APRENDIZAJE

1. **Identificar los elementos de un problema de líneas de espera en una situación real.** La sección "Estructura de los problemas de líneas de espera", pp. 226-229, define los cuatro elementos de cada problema de líneas de espera. Las figuras B.1, B.2 y B.3 describen estos elementos y diferentes arreglos de la instalación de servicio.
2. **Describir los modelos de un solo servidor, múltiples servidores y fuente finita.** Vea en la sección "Empleo de los modelos de líneas de espera para analizar las operaciones", pp. 230-236 una descripción y demostración de estos tres modelos. Los ejemplos B.3, B.4 y el problema resuelto al final de este suplemento aplican el modelo de un servidor. El ejemplo B.5 muestra el modelo de varios servidores y el ejemplo B.6 aplica el modelo de fuente finita.
3. ***Explicar cómo utilizar los modelos de líneas de espera para estimar las características de operación de un proceso.*** Los ejemplos B.3 a B.6 muestran cómo obtener estimaciones para las características de operación importantes utilizando los modelos de líneas de espera.
4. **Describir las situaciones en las que debe utilizarse simulación para analizar una línea de espera y la naturaleza de la información que se obtiene.** La sección "Líneas de espera y simulación", pp. 236-237, explica cuándo debe usarse simulación y estudia un ejemplo que muestra la naturaleza de la información que la administración puede obtener de los análisis.
5. **Explicar cómo se utilizan los modelos de líneas de espera para tomar decisiones administrativas.** La sección "Áreas de decisión para la administración", pp. 237-238, describe siete áreas de decisión que se analizan con los modelos de líneas de espera.

MyOMLab le ayuda a desarrollar habilidades y evalúa su avance con múltiples problemas de tasa de utilización, probabilidad de más de *n* clientes en el sistema, número de clientes esperando, probabilidad de que no haya clientes en el sistema, número de promedio de clientes en el sistema y tasa de servicio para mantener el número promedio de clientes en el sistema en cierto nivel.

Recursos de MyOMLab	Títulos	Vínculos con el libro
Video	*1st Bank Villa Italia: líneas de espera*	Suplemento completo
Ejercicios de modelo activo	B.1 Modelo de un servidor B.2 Modelo de varios servidores con costos B.3 Modelo de fuente finita con costos	Modelo de un servidor; ejemplo B.3 (p. 232) Modelo de varios servidores; ejemplo B.5 (p. 233) Modelo de fuente finita; ejemplo B.6 (p. 235)
Solvers de OM Explorer	Modelo de un servidor Modelo de varios servidores *Modelo de fuente finita*	Modelo de un servidor; ejemplo B.3 (p. 232); figura B.4 (p. 232) Modelo de varios servidores; ejemplo B.5 (p. 233); figura B.5 (p. 234) *Modelo de fuente finita; ejemplo B.6 (p. 235); figura B.6 (p. 236)*

Recursos de MyOMLab	Títulos	Vínculos con el libro
Tutores de OM Explorer	B.1 Modelo de líneas de espera de un servidor B.2 Modelo de varios servidores B.3 Fuente finita	Modelo de un servidor; ejemplo B.3 (p. 232) Modelo de varios servidores; ejemplo B.5 (p. 233) Modelo de fuente finita; ejemplo B.6 (p. 235)
POM para Windows	B.1 Modelo de un servidor B.2 Modelo de varios servidores con costos B.3 Modelo de fuente finita B.4 Modelo de tamaño finito del sistema	Modelo de un servidor; ejemplo B.3 (p. 232) Modelo de varios servidores; ejemplo B.5 (p. 233) Modelo de fuente finita; ejemplo B.6 (p. 235) Empleo de modelos de líneas de espera para analizar las operaciones
Tours virtuales	Departamento de bomberos de la ciudad de Nueva York	Todo el suplemento
Ejercicios en Internet	Navegando en Google	Estructura de las líneas de espera
Texto en línea	SimQuick: simulación del proceso con Excel, 2e	Líneas de espera y simulación; figura B.7 (p. 237); figura B.8 (p. 237)
Ecuaciones clave		
Biblioteca de imágenes		

Ecuaciones clave

1. Distribución Poisson para las llegadas de los clientes:

$$P_n = \frac{(\lambda T)^n}{n!} e^{-\lambda T}$$

2. Distribución exponencial para los tiempos de servicio:

$$P(t \le T) = 1 - e^{-\mu T}$$

3. Utilización promedio del sistema:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

4. Probabilidad de que haya n clientes en el sistema:

$$P_n = (1 - \rho)\rho^n$$

5. Probabilidad de que haya cero clientes en el sistema:

$$P_0 = 1 - \rho$$

6. Número promedio de clientes en el sistema de servicio:

$$L = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$$

7. Número promedio de clientes en la línea de espera:

$$L_q = \rho L$$

8. Tiempo promedio en el sistema, incluyendo servicio:

$$W = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$$

9. Tiempo promedio en la línea:

$$W_q = \rho W$$

10. Ley de Little:

$$L = \lambda W$$

Términos clave

canal 227
disciplina con interrupción 229
estación de servicio 226
etapa 227
ley de Little 234
línea de espera 225
población de clientes 226
regla de prioridad 226
sistema de servicio 226
tiempos entre llegadas 230

Problema resuelto

Un fotógrafo toma fotografías para pasaporte a una tasa promedio de 20 tomas por hora. El fotógrafo debe esperar hasta que el siguiente cliente sonría, de manera que el tiempo para tomar una fotografía tiene distribución exponencial. Los clientes llegan siguiendo una distribución Poisson con tasa promedio de 19 clientes por hora.

a) ¿Cuál es la utilización del fotógrafo?

b) ¿Cuál es el tiempo promedio que pasa el cliente con el fotógrafo?

SOLUCIÓN

a) Las suposiciones en el enunciado del problema son congruentes con un modelo de un servidor. La utilización es:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{19}{20} = 0.95$$

a) El tiempo promedio que pasa el cliente con el fotógrafo es:

$$W = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{20 - 19} = 1 \text{ hora}$$

Problemas

El OM Explorer y POM para Windows están disponibles para todos los estudiantes de la décima edición de este libro. Vaya a **www.pearsonhighered.com/krajewski** para bajar estos paquetes de computadora. Si compró MyOMLab, también tiene acceso al software de modelos activos y mucha ayuda para resolver los problemas siguientes. Verifique con su instructor la mejor manera de usar estos recursos. En muchos casos, el instructor le pedirá que comprenda cómo se hacen los cálculos a mano. Por lo menos, el software proporciona una verificación de sus cálculos. Cuando los cálculos son muy complejos y la meta es interpretar los resultados al tomar una decisión, el software sustituye por completo los cálculos manuales.

1. El despacho de abogados Solomon, Smith y Samson produce gran cantidad de documentos legales que deben pasar por un procesador de palabras para los clientes y la empresa. Las solicitudes tienen un promedio de ocho páginas de documento por hora y llegan de acuerdo con una distribución Poisson. La secretaria procesa 10 páginas por hora en promedio con distribución exponencial.

a) ¿Cuál es la tasa de utilización promedio de la secretaria?

b) ¿Cuál es la probabilidad de que más de cuatro páginas estén esperando o en proceso?

c) ¿Cuál es el número promedio de páginas que esperan ser procesadas?

2. Benny's Arcade tiene seis máquinas de videojuegos. El tiempo promedio entre las fallas de las máquinas es 50 horas. Jimmy, el ingeniero de mantenimiento, logra reparar una máquina en 15 horas en promedio. Las máquinas tienen una distribución exponencial de fallas y Jimmy tiene una distribución exponencial para el tiempo de servicio.

a) ¿Cuál es la utilización de Jimmy?

b) ¿Cuál es el número promedio de máquinas descompuestas, es decir, esperando o en reparación?

c) ¿Cuál es el tiempo promedio en que una máquina está descompuesta?

3. Moore, Aiken y Payne es una clínica dental de cuidados críticos que da servicio a necesidades de urgencias del público en general según la disciplina de primero en entrar, primero en servir. La clínica tiene cinco sillas de dentista, tres de las cuales tienen un odontólogo asignado. Los pacientes llegan a una tasa de cinco por hora, de acuerdo con una distribución Poisson y no se frustran ni reniegan. El tiempo promedio requerido para un tratamiento de urgencia es de 30 minutos, según una distribución exponencial. Utilice OM Explorer o POM para Windows para contestar las siguientes preguntas:

a) Si el administrador de la clínica desea asegurar que los pacientes no esperen más de 15 minutos en promedio para ver al dentista, ¿son adecuados tres dentistas? Si no lo son, ¿cuántos dentistas más se requieren?

b) Para el estado actual de tres dentistas asignados, ¿cuál es el cambio en cada una de las siguientes características de operación cuando se asigna a un cuarto dentista?

- Utilización promedio.
- Número de clientes en la línea.
- Número de clientes en el sistema.

c) Para el estado actual de tres dentistas asignados, ¿cuál es el cambio en cada una de las características operativas siguientes cuando se asigna al quinto dentista?

- Utilización promedio.
- Número de clientes en la línea.
- Número de clientes en el sistema.

4. El salón de belleza Fantastic Styling está manejado por tres estilistas, Jenny Pérez, Jill Sloan y Jerry Tiller, cada uno capaz de atender a cuatro clientes por hora en promedio. Utilice OM Explorer o POM para Windows para contestar las siguientes preguntas:

Durante los periodos ocupados del día, cuando llegan nueve clientes por hora en promedio, los tres estilistas están trabajando.

a) Si todos los clientes esperan en una línea común al siguiente estilista disponible, ¿cuánto tiempo esperarán en promedio antes de que los atiendan?

b) Suponga que cada cliente quiere que lo atienda un estilista específico, 1/3 quiere a Pérez, 1/3 quiere a Sloan, 1/3 quiere a Tiller. ¿Cuánto tiempo en promedio esperará un cliente para ser atendido?

Durante periodos menos ocupados del día, cuando llegan seis clientes por hora en promedio, solo Pérez y Sloan están trabajando.

c) Si todos los clientes esperan en una línea común al siguiente estilista disponible, ¿cuánto espera un cliente en promedio antes de ser atendido?

d) Suponga que cada cliente desea que lo atienda un estilista específico, 60% quiere a Pérez y 40% quiere a Sloan. ¿Cuánto tiempo en promedio espera un cliente antes de que Pérez lo atienda?, ¿y en global?

5. Usted es el gerente de un banco local donde tres cajeros proporcionan servicios a los clientes. En promedio cada cajero toma tres minutos para asistir a un cliente. Los clientes llegan, en promedio, a una tasa de 50 por hora. Debido a que recientemente ha recibido quejas de algunos clientes porque esperan mucho tiempo antes de que los atiendan, su jefe le pide que evalúe el sistema de servicio. En especial, debe proporcionar respuestas a las siguientes preguntas:

a) ¿Cuál es la utilización promedio de los tres cajeros del sistema de servicio?

b) ¿Cuál es la probabilidad de que no haya clientes en la línea de espera ni con los cajeros?

c) ¿Cuál es el número promedio de clientes que esperan en la línea?

d) En promedio, ¿cuánto tiempo espera en la línea un cliente antes de que lo atiendan?

e) En promedio, ¿cuántos clientes habrá en una estación de servicio y en la línea?

6. La proveedora de agua Pasquist Water Company (PWC) opera una instalación de 24 horas diseñada para llenar con eficiencia pipas para agua. Los camiones llegan de manera aleatoria y esperan en línea para tener acceso a una bomba de pozo. Como el tamaño de los camiones varía y la operación de llenado es manual, realizada por el conductor, el tiempo para llenar los tanques también es aleatorio.

a) Si el gerente de la PWC utiliza el modelo de "múltiples servidores" para calcular las características de operación de la línea de espera de la instalación, enumere tres suposiciones que deba hacer respecto al comportamiento de los camiones que esperan y el proceso de llegada.

b) Suponga que en promedio llegan 336 camiones cada día, hay cuatro bombas de pozo y cada una puede llenar un promedio de cuatro camiones por hora.

- ¿Cuál es la probabilidad de que exactamente 10 camiones lleguen entre la 1:00 y las 2:00 de la tarde, en cualquier día?
- ¿Qué tan probable es que un una vez que un camión está en una bomba, el tiempo de llenado sea 15 minutos?

c) Compare y comente las diferencias de desempeño entre:

- Una línea de espera que alimenta a cuatro estaciones.
- Una línea de espera que alimenta a dos bombas y una segunda línea que alimenta las otras dos bombas. Suponga que los conductores no pueden ver cada línea y deben elegir entre ellas al azar. Más aún, suponga que, una vez que hacen la elección, el camión no debe salir de la línea.

7. El supervisor en Precision Machine Shop quiere determinar la política de personal que minimice los costos totales de operación. La tasa de llegada promedio en el depósito de herramientas que se prestan a los trabajadores es ocho operadores por hora. Cada operador gana $20 por hora. El supervisor puede asignar al depósito un asistente junior que gana $5 por hora y procesa 10 llegadas por hora, o a un asistente mayor que gana $12 por hora y procesa 16 llegadas por hora. ¿Qué asistente debe elegir y cuál sería el costo por hora total estimado?

8. La hija del dueño de un restaurante de hamburguesas en el área, está preparando la apertura de un nuevo restaurante de comida rápida llamado Hasty Burgers. Con base en la tasa de llegadas en los restaurantes de su padre, espera que los clientes lleguen a la ventanilla para automóviles de acuerdo con una distribución Poisson, con una media de 20 clientes por hora. La tasa de servicio es flexible; sin embargo, se espera que los tiempos de servicio sigan una distribución exponencial. La ventana para vehículos es una operación de un solo servidor.

a) ¿Qué tasa de servicio se necesita para mantener en cuatro el número promedio de clientes en el sistema de servicio (línea de espera y en servicio)?

b) Para la tasa de servicio en el inciso *a)*, ¿cuál es el tiempo promedio de espera en la línea para cada cliente? ¿Este promedio parece satisfactorio para un negocio de comida rápida?

9. El administrador de una sucursal del Banco Mexicali observa durante las horas pico que llega un promedio de 20 clientes por hora y que hay un promedio de cuatro clientes en la sucursal en cualquier tiempo. ¿Cuánto tiempo en promedio pasa el cliente esperando en la línea por su servicio?

10. Paula Caplin es gerente en una instalación de reparación electrónica que pertenece a Fisher Electrónics. Recientemente, la alta administración expresó preocupación por el creciente número de trabajo de reparación que está en proceso en la instalación. La tasa de llegadas promedio es de 120 trabajos por día. El trabajo pasa en promedio cuatro días en la instalación.

a) ¿Cuál es el nivel de trabajo en proceso actual en la instalación?

b) Suponga que la alta administración ha puesto un límite de la mitad del nivel de trabajo en proceso actual. ¿Cuál es la meta que Paula debe establecer y cómo puede lograrla?

Problemas avanzados

11. Failsafe Textiles emplea tres trabajadores de mantenimiento altamente capacitados que son responsables de reparar numerosos robots industriales utilizados en su proceso de manufactura. Un trabajador puede componer un robot cada ocho horas en promedio, con una distribución exponencial. En promedio, un robot falla cada tres horas, de acuerdo con una distribución de Poisson. Cada robot descompuesto cuesta a la compañía $100.00 por hora en producción perdida. Un nuevo trabajador de mantenimiento cuesta $80.00 por hora en salario, prestaciones y equipo. ¿Debe el administrador contratar con más personal? Si es así, ¿cuántas personas? ¿Qué recomendaría al administrador con base en su análisis?

12. El College of Business and Public Administration en Benton University tiene una copiadora en cada piso para uso de los académicos. El trabajo pesado de las cinco copiadoras ocasiona frecuentes fallas. Los registros de mantenimiento muestran que una máquina falla cada 2.5 días (o $\lambda = 0.40$ fallas/día). El colegio tiene un contrato de mantenimiento con el distribuidor autorizado de las máquinas. Como las copiadoras fallan con tanta frecuencia, el distribuidor ha asignado a una persona al colegio para repararlas. La persona repara un promedio de 2.5 máquinas por día. Utilice el modelo de fuente finita para responder las siguientes preguntas:

a) ¿Cuál es la utilización promedio de la persona de mantenimiento?

b) En promedio, ¿cuántas máquinas copiadoras están en espera y reparación?

c) ¿Cuál es el tiempo promedio que una copiadora pasa en el sistema de reparación (esperando y en reparación)?

13. Ahora está a cargo de una cantera que suministra arena y agregados de piedra a los sitios de construcción de su compañía. Los camiones vacíos de los sitios de construcción llegan a las altas pilas de arena y agregados de piedra de la cantera y esperan en línea para entrar a la estación, que puede cargar la arena o los agregados. En la estación los llenan con material, los pesan, les dan la salida y proceden al sitio de construcción. Actualmente, llega un promedio de nueve camiones vacíos por hora. Una vez que un camión entra a la estación de carga, toma seis minutos que lo llenen, lo pesen y le den la salida. Preocupado porque los camiones pasan mucho tiempo esperando el llenado, usted decide evaluar dos alternativas para reducir el tiempo promedio que los camiones pasan en el sistema. La primera alternativa es agregar tablas laterales a los camiones (para que puedan cargar más material) y colocar un ayudante en la estación de carga (para que el tiempo de llenado pueda reducirse) a un costo total de $50,000. La tasa de llegada de los camiones cambiaría a seis por hora y el tiempo de llenado se reduciría a cuatro minutos. La segunda alternativa es agregar otra estación de carga idéntica a la actual, con un costo de $80,000. Los camiones esperarían en una línea común y el camión al frente de la línea se movería a la siguiente estación disponible.

¿Qué alternativa recomendaría si quiere reducir el tiempo promedio actual que los camiones pasan en el sistema, incluyendo el servicio?

Referencias seleccionadas

Cooper, Robert B. *Introduction to Queuing Theory*, 2a. ed., Nueva York: Elsevier-North Holland, 1980.

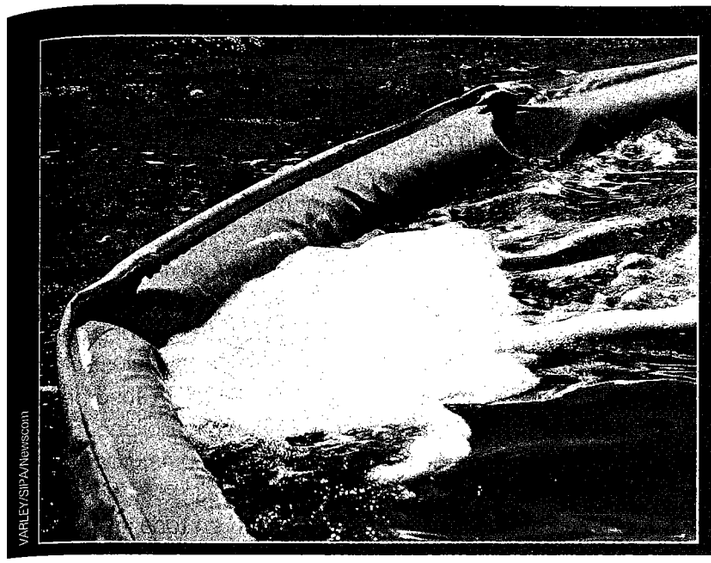
Hartvigsen, David. *SimQuick: Process Simulation with Excel*, 2a. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2004.

Hillier, F.S. y G.S. Lieberman. *Introduction to Operations Research*, 2a. ed. San Francisco: Holden-Day, 1975.

Little, J.D.C. "A Proof for the Queuing Formula: $L = \lambda M$". *Operations Research*, vol. 9 (1961), pp. 383-387.

Moore, P.M. *Queues, Inventories and Maintenance*. Nueva York: John Wiley & Sons, 1958.

Saaty, T.L. *Elements of Queuing Theory with Applications*. Nueva York: McGraw-Hill, 1961.



7 ADMINISTRACIÓN DE RESTRICCIONES

Boom o contenedor de petróleo que recolecta espuma en la isla Queen Bess, cerca de Grand Isle, Luisiana.

Derrame de petróleo en el Golfo de México por British Petroleum

British Petroleum (BP) es uno de los líderes internacionales de petróleo, gas y productos petroquímicos, con operaciones en 29 países, 79,000 empleados y ventas en 2010 cercanas a los $30 mil millones. Opera más de 22,000 puntos de venta. El 20 de abril de 2010 hubo una explosión y fuego en la plataforma de perforación de Deepwater Horizon de Transocean Ltd. que se concesionó a BP. Dos días después penetraron 5,000 pies de agua y derramó alrededor de 4,900 millones de barriles de petróleo en el Golfo de México antes de que el pozo dañado fuera controlado, a mediados de julio de 2010. El resultado del derrame de petróleo fue el cierre de la actividad pesquera y una seria amenaza a la línea costera y sus delicados ecosistemas. Pinnacle Strategies fue una de las empresas contratadas para ayudar a la BP a impulsar la salida de los equipos contra el derrame, como barcos y plataformas, al igual que los suministros de recursos cruciales como estructuras contenedoras (*booms*), desnatadoras y equipos descontaminantes.

Un *boom* es un dispositivo inflable que flota y se utiliza para atrapar petróleo en la dirección del viento en un cuerpo de agua. Este petróleo luego se puede bombear a los *booms* por las desnatadoras. Sin embargo, sus capacidades limitadas de producción representaron un reto de enormes proporciones. Prestige Products en Walker, Michigan, podía hacer 500 pies en un buen día, mientras una sola orden del tamaño requerido por BP excedía la capacidad combinada de todos los fabricantes de *booms* en Estados Unidos. A pesar de aumentar personal de 5 a 75 y elevar la producción a 12,800 pies diarios, la planta de Prestige sintió que había llegado a su límite. Ahí fue donde intervino Ed Kincer de Pinnacle Strategies. Observó que el *boom* se ensamblaba muy rápido, con poco qué hacer entre ensambles por varios minutos. Los cortadores rebanaban el *boom* cortando un

lado, luego caminaban 100 pies para cortar el otro lado. Los trabajadores también se sentaban inactivos mientras esperaban una soldadora. Había desperdicio en la forma de caminatas excesivas, espera por máquinas y cambios de ritmos de producción. Kincer identificó las restricciones en el proceso, encontró formas de manejarlas y aumentó a más del triple la capacidad. Con el tiempo, Prestige terminó haciendo más de un millón de pies de *boom* para la BP.

La teoría de restricciones es el enfoque científico que utilizó Pinnacle para impulsar la producción de otros proveedores clave de la BP. Kvichak Marine en Seattle cuadruplicó su producción de desnatadoras, mientras que en Illinois Elastec aumentó su producción de 4 a 26 desnatadoras por semana. Abasco, un fabricante de *booms* en Houston, aumentó 20% su producción debido a un reequilibrio del personal, de manera que la operación de soldadura seguía trabajando, incluso durante los descansos. En Supply Pro, un fabricante en Texas de *boom* absorbente, la capacidad aumentó varias veces usando celulosa en lugar de polipropileno. En seis meses, Pinnacle duplicó y más su abastecimiento de desnatadoras, *booms* y otros recursos cruciales identificando cuellos de botella en docenas de fábricas y trabajadores centrados en ellos. Estas mejoras en la capacidad en toda la cadena de suministro de la BP aseguraron que la falta de materiales no terminara restringiendo las operaciones de limpieza en la lucha contra el derrame de petróleo.

Fuente: Brown, A. "Theory of Constraints Tapped to Accelerate BP's Gulf of Mexico Cleanup". *Industry Week* (18 de marzo, 2011); **http://www.newsweek.com/photo/2010/05/22/oil-spill-timeline.html; http://www.bp.com/**, 5 de mayo, 2011.

METAS DE APRENDIZAJE *Después de estudiar este capítulo, usted será capaz de:*

1. Explicar la teoría de restricciones.
2. Comprender la relación de las restricciones de capacidad con las medidas de desempeño financiero.
3. Identificar cuellos de botella.
4. Aplicar la teoría de restricciones a las decisiones de mezcla de productos.
5. Describir cómo administrar las restricciones en una línea de ensamble.

restricción

Cualquier factor que limita el desempeño de un sistema y restringe su salida. En programación lineal, una limitación restringe las elecciones permitidas para las variables de decisión.

cuello de botella

Recurso restringido en capacidad (RRC), donde esta limita la habilidad de la organización para cumplir con el volumen de producción, mezcla de productos o fluctuación de la demanda requerida por el mercado.

Suponga que se hizo reingeniería a uno de los procesos de una empresa y a pesar de ello los resultados fueron decepcionantes. Los costos eran todavía altos o la satisfacción del cliente era todavía baja. ¿Qué pudo salir mal? La respuesta podría ser las restricciones que permanecen en uno o más pasos de los procesos. Una **restricción** es cualquier factor que limita el desempeño de un sistema y restringe su salida, mientras que la *capacidad* es la tasa máxima de producción de un proceso o sistema. Cuando existen restricciones en cualquier paso, como las había con los proveedores de la BP, la capacidad puede desequilibrarse: es demasiado alta en unos departamentos y demasiado baja en otros. Como resultado, el desempeño global del sistema resulta afectado.

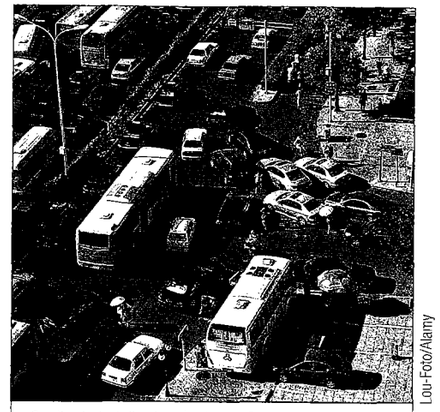
Las restricciones pueden ocurrir atrás o adelante en la cadena de suministro, ya sea con los proveedores o los clientes, o dentro de los procesos de la empresa como el desarrollo de un servicio/producto o la satisfacción de órdenes. En general, se identifican tres tipos de restricciones: físicas (usualmente capacidad de máquinas, mano de obra o estación de trabajo, o bien, faltantes de materiales, pero puede ser espacio o calidad), mercado (demanda menor que la capacidad) o administrativas (políticas, métricas o prejuicios que crean restricciones que impiden el flujo del trabajo). Un **cuello de botella**[1] es un tipo especial de restricción que se relaciona con falta de capacidad de un proceso y se define como cualquier recurso razonable cuya capacidad disponible limita la habilidad de la organización para cumplir con el volumen de servicio o producto, la mezcla de productos o los requerimientos fluctuantes de la demanda del mercado. Un sistema de negocios o un proceso tendrá al menos una restricción o cuello de botella; de otra manera, su salida estará limitada solo por la demanda del mercado. La experiencia de la BP y otras empresas en el cuidado de la salud, la banca y las industrias de manufactura demuestran la importancia de la administración de restricciones para el futuro de la organización.

[1]En ciertas condiciones, un cuello de botella también se llama *recurso restringido en capacidad* (RRC). El proceso con la menor capacidad se llama cuello de botella si su salida es menor que la demanda del mercado o se llama RRC si es el recurso menos capaz en el sistema, pero todavía tiene una capacidad más alta que la demanda del mercado.

Administración de restricciones en toda la organización

Las empresas deben administrar sus restricciones y hacer las elecciones de capacidad adecuadas, tanto en el nivel de procesos individuales como en el de la organización. Así, este proceso implica cooperación entre funciones. Las decisiones detalladas y las selecciones tomadas dentro de cada uno de estos niveles afectan donde ocurren las restricciones de recursos o los cuellos de botella, tanto dentro como entre las fronteras departamentales. Aliviar los cuellos de botella en una parte de la organización puede no tener el efecto deseado, a menos que también se atienda el cuello de botella en otra parte. Un cuello de botella ocurre en el departamento de ventas que no logra suficientes ventas o en el departamento de préstamos que no procesa los documentos con la rapidez necesaria. La restricción puede ser una falta de capital o equipo, o bien, presentarse en la planeación y la programación.

Los administradores en toda la organización deben comprender cómo identificar y manejar los cuellos de botella en todo tipo de procesos, cómo relacionar la capacidad y las medidas de desempeño de un proceso con otro y cómo utilizar la información para determinar la mejor mezcla de servicios o productos de la empresa. Este capítulo explica la mejor forma en que los administradores deben tomar estas decisiones.



Cuello de botella de tránsito en Beijing, China.

Lou-Foto/Alamy

Teoría de restricciones

La **teoría de restricciones (TOC, *theory of constraints*)** es un enfoque administrativo sistemático que se centra en administrar activamente esas restricciones que impiden el progreso de una compañía hacia la meta de maximizar las ganancias y utilizar sus recursos con efectividad. Esta teoría fue desarrollada hace cerca de tres décadas por Eli Goldratt, un conocido analista de sistemas de negocios. Describe un proceso deliberado para identificar y vencer las restricciones. El proceso se enfoca no solo en la eficiencia de los procesos individuales, sino también en los cuellos de botella que restringen el sistema como un todo. Pinnacle Strategies en la viñeta de apertura del capítulo siguió esta teoría para mejorar las operaciones de la BP.

Los métodos de la TOC incrementan las ganancias de la empresa de manera más efectiva al enfocarse en hacer que los materiales fluyan con rapidez por todo el sistema. Ayudan a las empresas a ver el panorama completo: cómo pueden mejorarse los procesos para incrementar los flujos de trabajo globales y cómo se pueden reducir los niveles de inventario y de fuerza de trabajo conservando la utilización efectiva de los recursos cruciales. Para hacerlo, es importante comprender las medidas relevantes de desempeño y capacidad a nivel operacional, al igual que su relación con las medidas financieras más ampliamente comprendidas a nivel de la empresa. Estas medidas y relaciones, tan importantes para aplicar con éxito los principios de la TOC, se definen en la tabla 7.1.

TABLA 7.1 RELACIÓN DE LAS MEDIDAS OPERACIONALES DE LA EMPRESA CON SUS MEDIDAS FINANCIERAS

Medidas operacionales	Punto de vista de la TOC	Relación con las medidas financieras
Inventario (I)	Todo el dinero invertido en un sistema al comprar cosas que intenta vender	Una disminución en I lleva a un incremento en la ganancia neta, en ROI y en el flujo de efectivo
Tasa de salida (T)	Tasa a la que el sistema genera dinero a través de las ventas	Un incremento en T lleva a un aumento de la ganancia neta, en ROI y en el flujo de efectivo
Gasto de operación (GO)	Todo el dinero que gasta el sistema para convertir el inventario en salida	Una disminución en GO lleva a un aumento en la ganancia neta, en ROI y en los flujos de efectivo
Utilización (U)	Grado en el que el equipo, espacio o fuerza de trabajo se usa correctamente y se mide como la razón de la salida promedio a la capacidad máxima, expresada como porcentaje	Un aumento de la U en el cuello de botella lleva a un aumento en el beneficio neto, ROI y de los flujos de efectivo

Según el punto de vista de la teoría de restricciones, cada inversión de capital en el sistema, incluyendo máquinas y materiales de trabajo en proceso, representa inventario porque potencialmente todo se puede vender para hacer dinero. Fabricar un producto o servicio que no lleve a una venta no incrementará la tasa de salida (*throughput*) de una empresa, pero aumentará su inventario y sus gastos de operación. Siempre es mejor administrar el sistema de manera que la utilización del recurso en el cuello de botella se maximice a fin de maximizar la tasa de salida.

teoría de restricciones (TOC)

Es un enfoque administrativo sistemático dirigido a manejar de manera activa esas restricciones que impiden a una empresa avanzar hacia sus metas.

Creación de valor mediante la administración de operaciones

↓

Utilización de las operaciones para competir

Administración de proyectos

Administración de procesos

↓

Estrategia de procesos

Análisis de procesos

Calidad y desempeño

Planeación de la capacidad

Administración de restricciones

Sistemas esbeltos

Administración de la cadena de suministro

↓

Administración del inventario de la cadena de suministro

Diseño de la cadena de suministro

Decisiones de localización de la cadena de suministro

Integración de la cadena de suministro

Sustentabilidad de la cadena de suministro y logística humanitaria

Pronósticos

Planeación y programación de las operaciones

Planeación de recursos

Principios clave de la TOC

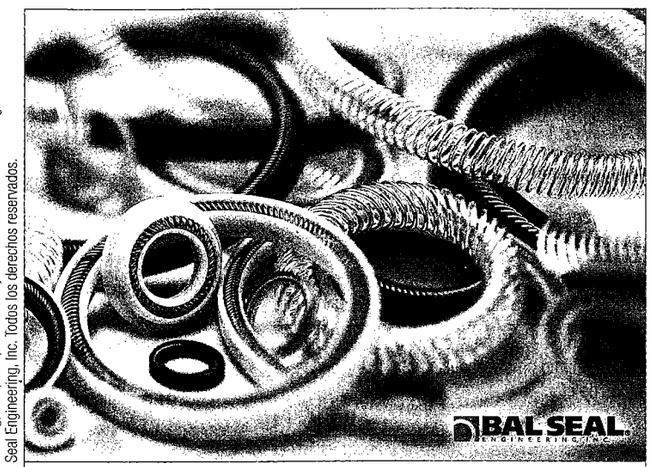
El concepto principal que fundamenta la teoría de restricciones es que los cuellos de botella deben programarse para maximizar la tasa de salida de servicios o productos, al mismo tiempo que se adhiere a las fechas de terminación prometidas. La suposición esencial es que la demanda es mayor o igual que la capacidad del proceso que fabrica el servicio o producto; de otra manera, en lugar de cambios internos, marketing debe trabajar en el incremento de la demanda. Por ejemplo, la manufactura de un rastrillo de jardín involucra fijar un arco a la cabeza de este. Las cabezas de rastrillo deben procesarse en la prensa de troquelado, soldarse al arco, limpiarse y sujetarse al mango; luego el rastrillo se empaca y al final se envía a Sears, Home Depot o Walmart, de acuerdo con el programa de entrega especificado. Suponga que los compromisos de entrega para todos los tipos de rastrillos el siguiente mes indican que la estación de soldadura tiene una carga de 105% de su capacidad, pero que otros procesos se usarán a solo 75% de sus capacidades. De acuerdo con la TOC, la estación de soldadura es el recurso cuello de botella, mientras que la prensa, limpieza, colocación del mango, empaque y envío no son recursos cuello de botella. Cualquier tiempo ocioso en la estación de soldadura debe eliminarse para maximizar la tasa de salida. Los administradores deben, por lo tanto, enfocarse en la programación de la soldadura.

Siete principios clave de la TOC que giran alrededor del uso eficiente y la programación de cuellos de botella, la mejora del flujo y la tasa de salida se resumen en la tabla 7.2.

TABLA 7.2 | SIETE PRINCIPIOS CLAVE DE LA TEORÍA DE RESTRICCIONES

1.	La atención debe centrarse en equilibrar el flujo, no la capacidad.
2.	Maximizar la salida y la eficiencia de cada recurso puede no maximizar la tasa de salida de todo el sistema.
3.	Una hora perdida en un cuello de botella o un recurso restringido es una pérdida en todo el sistema. Por el contrario, una hora ahorrada en un recurso que no es cuello de botella es un espejismo porque no hace que el sistema completo sea más productivo.
4.	El inventario se necesita solo antes de los cuellos de botella para prevenir que se queden ociosos y hacerse antes de un punto de ensamble y un punto de embarque para proteger la programación del cliente. Debe evitarse la acumulación de inventarios en otros puntos.
5.	El trabajo, que puede ser materiales, información por procesar, documentos o clientes, debe liberarse al sistema solo con la frecuencia que necesiten los cuellos de botella. Los flujos del cuello de botella deben ser iguales a la demanda del mercado. Establecer el ritmo de todo según el recurso más lento minimiza el inventario y los gastos de operación.
6.	Activar un recurso que no es cuello de botella (utilizándolo para mejorar la eficiencia que no aumenta el la tasa de salida) no es lo mismo que utilizar un recurso cuello de botella (que no lleva a incrementar la tasa de salida). La activación de recursos cuello de botella no aumenta la tasa de salida ni promueve un mejor desempeño en las medidas financieras descritas en la tabla 7.1.
7.	Cada inversión de capital debe verse desde la perspectiva de su impacto global en la tasa de salida total (T), el inventario (I) y los gastos de operación (GO).

Reimpresión cortesía de Bal Seal Engineering, Inc. Copyright © Bal Seal Engineering, Inc. (2010). "Bal Seal" y "canted-coil" son marcas registradas de Bal Seal Engineering, Inc. Todos los derechos reservados.



Bal Seal Engineering es un diseñador y fabricante de sellos a la medida y resortes de serpentín inclinado (canted-coil™) para las industrias aeroespacial, automotriz, del transporte, médica y otras. Al aplicar los muchos principios modernos de administración, incluyendo la teoría de restricciones (TOC), la compañía crece y mejora la satisfacción del cliente.

Las aplicaciones prácticas de la TOC implican la implementación de los siguientes pasos.

1. *Identificar los cuellos de botella del sistema.* Para el ejemplo del rastrillo, el cuello de botella es la estación de soldadura porque restringe la habilidad de la empresa para cumplir el programa de envíos y, con ello, los fondos de valor agregado totales. Otras formas de identificar un cuello de botella se verán con detalle un poco más adelante.
2. *Explotar los cuellos de botella.* Crear programas que maximicen la tasa de salida de los cuellos de botella. Para el ejemplo del rastrillo, programar la estación de soldadura de manera que se maximice su utilización al tiempo que se cumplan los compromisos de entrega al mayor grado posible. Además, asegurarse de que solo las partes con buena calidad pasan al cuello de botella.
3. *Subordinar todas las demás decisiones al paso 2.* Los recursos que no son cuello de botella deben programarse para apoyar el programa del cuello de botella y no debe producirse más que lo que puede manejar el cuello de botella. Esto es, la prensa de troquelado no debe producir más que lo que la soldadura puede manejar, y las actividades de limpieza y operaciones subsecuentes deben basarse en la tasa de salida de la estación de soldadura.

4. *Elevar los cuellos de botella.* Después de que las mejoras en la programación en los pasos 1 a 3 han sido agotadas, si el cuello de botella sigue restringiendo la tasa de salida, la administración debe considerar aumentar su capacidad. Por ejemplo, si la estación de soldadura es todavía una restricción después de agotar las mejoras de programación, considere aumentar su capacidad agregando otro turno u otra máquina para soldar. Existen otros mecanismos para incrementar la capacidad del cuello de botella que se estudiarán después.
5. *No dejar que se establezca la inercia.* Las acciones tomadas en los pasos 3 y 4 mejorarán la tasa de salida de la soldadura y pueden alterar las cargas de otros procesos. En consecuencia, las restricciones del sistema pueden cambiar. Entonces, la aplicación práctica de los pasos 1 a 4 debe repetirse con el fin de identificar y manejar nuevas restricciones.

Debido a su potencial para la mejora drástica del desempeño, muchos fabricantes han aplicado los principios de la teoría de restricciones. Todos los fabricantes que han implementado los principios de TOC también pueden lograr un cambio drástico en la mente de los empleados y administradores. En lugar de enfocarse solo en sus propias funciones, observan el "panorama completo" y detectan dónde habría otras mejoras al sistema.

Identificación y administración de cuellos de botella

Los cuellos de botella pueden ser internos o externos a la empresa y suelen representar un proceso, un paso o una estación de trabajo con la menor capacidad. El **tiempo de salida** es el tiempo total transcurrido desde el inicio hasta la terminación de un trabajo o del procesamiento de un cliente en una o más estaciones de trabajo. Cuando un cuello de botella está en un servicio dado o un proceso de manufactura se identifica de dos maneras. Una estación de trabajo es un cuello de botella si: **1.** tiene el tiempo total de salida más alto por unidad procesada o **2.** si tiene el promedio de utilización y la carga de trabajo total más altos.

tiempo de salida (*throughput time*)
Tiempo total transcurrido del inicio a la terminación de un trabajo o del procesamiento de un cliente en una o más estaciones de trabajo.

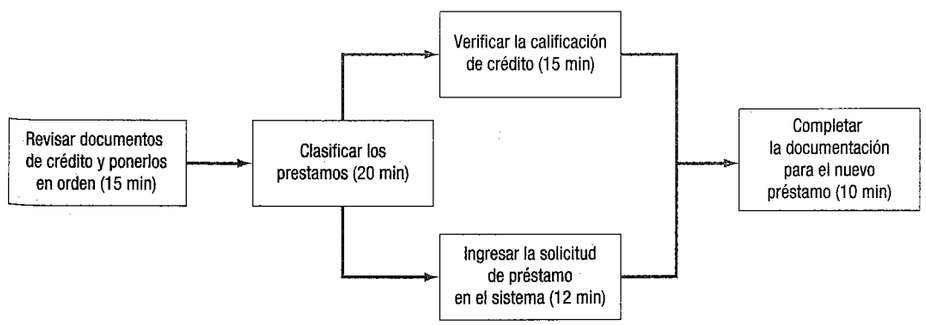
Administración de cuellos de botella en procesos de servicio

El ejemplo 7.1 ilustra cómo se identifican un paso o una actividad cuello de botella para un proceso de aprobación de préstamo en un banco.

EJEMPLO 7.1 **Identificación de cuellos de botella en un proceso de servicio**

Los administradores en el First Community Bank intentan acortar el tiempo que toma a los clientes con solicitudes de préstamo aprobadas el procesamiento de sus documentos. El diagrama de flujo para el proceso consistente en varias actividades, cada una realizada por un empleado distinto del banco, se muestra en la figura 7.1. Las solicitudes de préstamo aprobadas llegan primero a la actividad o paso 1, donde se verifica que estén completas y se ponen en orden. En el paso 2, los préstamos se clasifican en diferentes clases, de acuerdo con la cantidad del préstamo y si se piden por razones personales o comerciales. Mientras inicia la verificación del crédito en el paso 3, los datos de la solicitud se ingresan en forma paralela al sistema de información para mantener los registros en el paso 4. Por último, toda la documentación para establecer un nuevo préstamo se termina en el paso 5. El tiempo que toman en minutos está entre paréntesis.

¿Cuál paso es un cuello de botella, suponiendo que la demanda del mercado para solicitudes de préstamos excede la capacidad del proceso? La administración también está interesada en conocer el número máximo de préstamos aprobados que puede procesar este sistema en un día de trabajo de cinco horas.



▲ **FIGURA 7.1**
Procesamiento de solicitudes de préstamo en First Community Bank

SOLUCIÓN

Definimos el cuello de botella como el paso 2 que tiene el mayor tiempo por préstamo procesado. El tiempo de salida para completar una solicitud de préstamo aprobada es 15 + 20 + máx (15, 12) + 10 = **60** minutos. Aunque suponemos que no hay tiempo de espera antes de cada paso, en la práctica un flujo de proceso tan parejo no siempre ocurre. Así, el tiempo real que lleva completar un préstamo aprobado será mayor de 60 minutos debido a llegadas no uniformes de las aplicaciones, variaciones en los tiempos de procesado reales y otros factores relacionados.

La capacidad para completar un préstamo se deriva al traducir los "minutos por cliente" en el cuello de botella en "clientes por hora". En el First Community Bank, es de tres clientes por hora porque el cuello de botella del paso 2 puede procesar solo un cliente cada 20 minutos (60/3).

PUNTO DE DECISIÓN

El paso 2 es la restricción de cuello de botella. El banco fue capaz de completar un máximo de tres cuentas de préstamos por hora o 15 nuevas cuentas de préstamos en un día de cinco horas. La administración puede aumentar el flujo de solicitudes de préstamos si aumenta la capacidad del paso 2 hasta el punto en que otro paso se convierta en cuello de botella.

Todd Bigelow/Aurora Photos/Alamy

Debido a las restricciones de recursos como doctores, enfermeras y equipo, los pacientes esperan para recibir atención médica en una sala de espera llena en el South Central Family Health Center en Los Ángeles, California.

Un proceso de oficina al frente con alto contacto con el cliente y divergencia no tiene los flujos en línea sencillos mostrados en el ejemplo 7.1. Sus operaciones atienden a muchos tipos de clientes y las demandas en cualquier operación pueden variar de modo considerable de un día al siguiente. Sin embargo, todavía se logran identificar los cuellos de botella calculando la utilización prome-dio de cada operación; pero la variabilidad en la carga de trabajo también crea *cuellos de botella flotantes*. Una semana la mezcla de trabajo puede hacer que la operación 1 sea el cuello de botellay la siguiente semana el cuello de botella puede ser la operación 3. Este tipo de variabilidad aumenta lacomplejidad de la programación diaria. En esta situación, la administración prefiere tasas de utilización más bajas, que dan mayor holgura para absorber los picos en la demanda.

Los principios de TOC descritos son bastante amplios y su aplicación es extensa. Sirven para evaluar los procesos individuales al igual que sistemas grandes tanto de manufactura como de proveedores de servicio. Las organizaciones de servicios, como Delta Airlines, United Airlines, y los grandes hospitales en todo el país, incluyendo el sistema de cuidado de la salud de la fuerza aérea aprovechan la teoría de restricciones.

Administración de cuellos de botella en procesos de manufactura

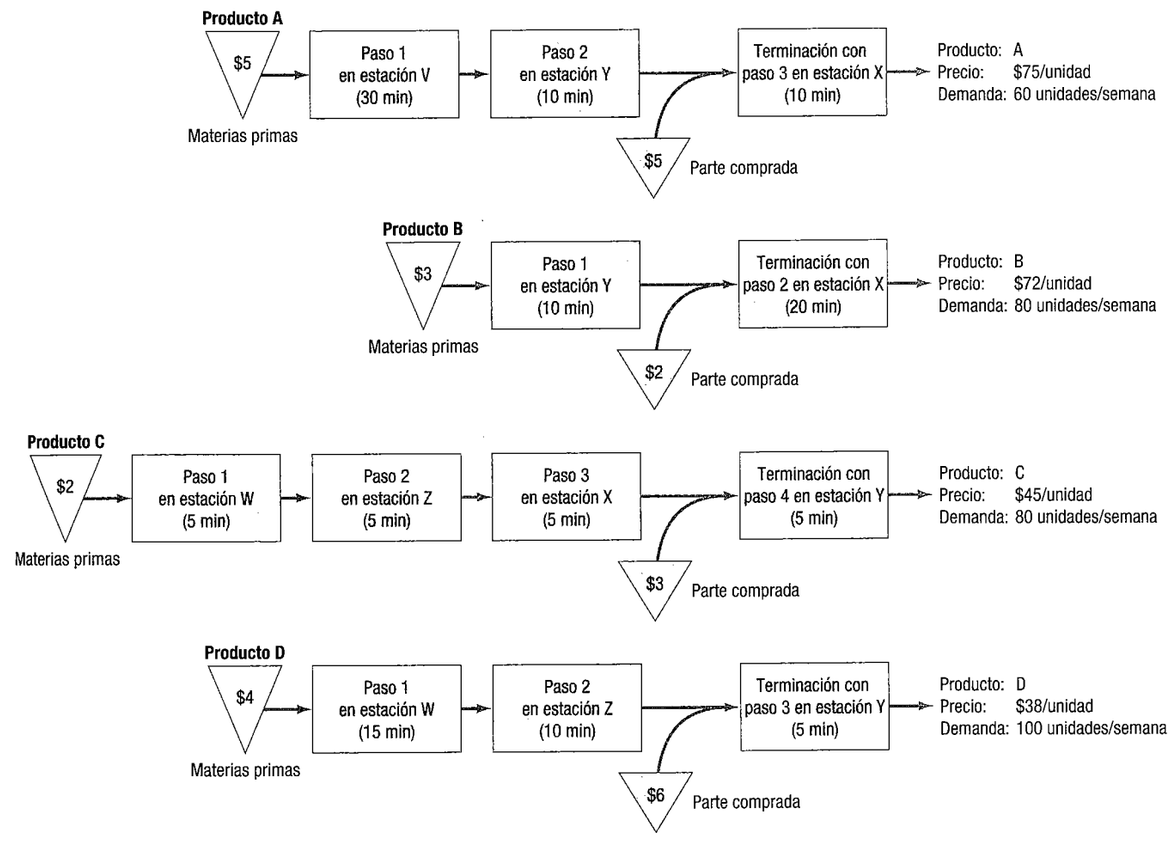
Los cuellos de botella existen en todo tipo de procesos de manufactura, incluyendo los procesos por trabajo, los procesos en línea y los procesos continuos. Como estos procesos difieren en diseño, intención estratégica y asignación de recursos (vea en el capítulo 3, "Estrategia de procesos", para detalles adicionales), la identificación y administración de cuellos de botella también difiere según el tipo de proceso. En esta sección se analizarán aspectos que rodean a la administración de cuellos de botella en procesos por trabajo y por lote y relegaremos la administración de restricciones en procesos en línea para una sección posterior.

Identificación de cuellos de botella Los procesos de manufactura con frecuencia exhiben algunas complejidades al identificar los cuellos de botella. Si se trata de servicios o productos múltiples, el tiempo de preparación adicional en una estación de trabajo suele ser necesario para cambiar de un servicio o producto al siguiente, que a su vez aumenta la carga de trabajo en la estación que hace el cambio. Los *tiempos de preparación* y sus costos asociados afectan el tamaño de los lotes que se mueven por los procesos por trabajo o por lotes. La administración trata de reducir los tiempos de preparación porque representan un tiempo improductivo para trabajadores o máquinas y con ello permitir lotes más pequeños y más económicos. De cualquier forma, no importa si los tiempos de preparación son significativos o no, una manera de identificar una operación de cuello de botella es por su utilización. El ejemplo 7.2 ilustra cómo puede identificarse el cuello de botella en un entorno de manufactura donde las preparaciones no se toman en cuenta.

EJEMPLO 7.2 Identificación de cuellos de botella en un proceso por lotes

Diablo Electronics fabrica cuatro productos únicos (A, B, C y D) que se producen y ensamblan en cinco estaciones de trabajo diferentes (V, W, X, Y y Z) usando un proceso de lotes pequeños. Cada estación de trabajo tiene un individuo que se dedica a laborar un turno por día en una estación asignada. Los tiempos de preparación del lote se han reducido a tal grado que pueden considerarse insignificantes. Un diagrama de flujo indica la trayectoria que cada producto sigue en el proceso de manufactura como se muestra en la figura 7.2, donde también se indica el precio de cada producto, la demanda por semana y los tiempos de procesamiento por unidad. Los triángulos invertidos representan partes compradas y las materias primas consumidas por unidad en diferentes estaciones de trabajo. Diablo puede hacer y vender hasta el límite de su demanda por semana y no incurre en penalizaciones por no poder cumplir toda la demanda.

¿Cuál de las cinco estaciones (V, W, X, Y o Z) tiene la utilización más alta y por ello se convierte en el cuello de botella para Diablo Electronics?



▲ **FIGURA 7.2**
Diagrama de flujo para los productos A, B, C y D

SOLUCIÓN

Como el denominador en la razón de utilización es el mismo para todas las estaciones de trabajo, con un trabajador por máquina en cada paso del proceso, podemos simplemente identificar el cuello de botella calculando las cargas de trabajo agregadas en cada estación.

La empresa desea satisfacer toda la demanda del producto que pueda en una semana. Cada semana consiste en 2,400 minutos de tiempo de producción disponible. Multiplicando el tiempo de procesamiento en cada estación para un producto dado por el número de unidades de demanda por semana se obtiene la carga de trabajo representada por ese producto. Estas cargas se suman para todos los productos que pasan por una estación, que luego se compara con las otras y con la capacidad existente de 2,400 minutos.

Estación de trabajo	Carga por el producto A	Carga por el producto B	Carga por el producto C	Carga por el producto D	Carga total (min)
V	60 × 30 = 1800	0	0	0	1,800
W	0	0	80 × 5 = 400	100 × 15 = 1,500	1,900
X	60 × 10 = 600	80 × 20 = 1,600	80 × 5 = 400	0	2,600
Y	60 × 10 = 600	80 × 10 = 800	80 × 5 = 400	100 × 5 = 500	2.300
Z	0	0	80 × 5 = 400	100 × 10 = 1,000	1,400

PUNTO DE DECISIÓN

La estación de trabajo X es el cuello de botella para Diablo Electronics porque la carga de trabajo agregada en X es mayor que las cargas de trabajo agregadas a las estaciones V, W, Y y Z y la capacidad máxima disponible es 2,400 minutos por semana.

Identificar cuellos de botella se vuelve considerablemente más difícil cuando los tiempos de preparación son largos y el grado de divergencia en el proceso es mayor que el mostrado en el ejemplo 7.2. Cuando el tiempo de preparación es largo, la operación con el tiempo total más alto por unidad procesada tiende a ser el cuello de botella. La variabilidad en las cargas de trabajo es posible cuando de nuevo se originan cuellos de botella flotantes, en especial si la mayoría de los procesos implican múltiples operaciones y a menudo sus capacidades no son idénticas. En la práctica, estos cuellos de botella también se determinan preguntando a los trabajadores y supervisores en la planta en dónde pueden estar los cuellos de botella y buscando material apilado a la entrada de las diferentes estaciones.

Alivio a los cuellos de botella La clave para preservar la capacidad de los cuellos de botella es monitorear con cuidado la programación a corto plazo y mantener los recursos del cuello de botella tan ocupados como sea práctico. Los administradores deben minimizar el tiempo ocioso en los cuellos de botella, ocasionados por retrasos en otras partes del sistema, y asegurarse de que el cuello de botella tiene todos los recursos necesarios para estar ocupado. Cuando se hace un cambio o una preparación en un cuello de botella, el número de unidades o clientes procesados antes del siguiente cambio debe ser grande comparado con el número procesado en operaciones menos cruciales. Maximizar el número de unidades procesadas por preparación significa menos preparaciones por año y, con ello, menos tiempo total perdido en preparaciones. El número de preparaciones también depende de la variedad de productos requeridos; más variedad necesita cambios más frecuentes.

La capacidad a largo plazo de las operaciones cuello de botella se puede expandir de varias maneras. Se puede invertir en nuevo equipo y en expansiones de ladrillo y mortero. La capacidad del cuello de botella también se expande operando más horas por semana; por ejemplo, contratando más empleados y yendo de una operación de un turno a diversos turnos, o contratando a más trabajadores y operando la planta 6 o 7 días por semana. Los administradores también alivian el cuello de botella rediseñando el proceso, ya sea mediante *reingeniería de procesos* o *mejora de procesos*, o comprando máquinas adicionales o máquinas que puedan manejar más capacidad.

Decisiones de mezcla de productos Los administradores pueden estar tentados a fabricar los productos con los márgenes de contribución o ventas unitarias más altos. El *margen de contribución* es la cantidad con que cada producto contribuye a las ganancias y los gastos generales; no se consideran los costos fijos cuando se toma la decisión de la mezcla de productos. Llamamos a este enfoque el *método tradicional*. El problema con este enfoque es que la salida real de la empresa y la probabilidad total dependen más de la contribución marginal generada en el cuello de botella que de la contribución marginal de cada producto individual fabricado. Llamamos a este enfoque *método de cuello de botella*. El ejemplo 7.3 ilustra ambos métodos.

EJEMPLO 7.3 Determine la mezcla de productos con el margen de contribución

La alta administración en Diablo Electronics (vea el ejemplo 7.2) desea mejorar la rentabilidad aceptando el conjunto correcto de órdenes, por lo que recolectó algunos datos financieros adicionales. Los costos generales variables son $8,500 por semana. Cada trabajador gana $18 por hora y se le paga por semana completa, sin importar cómo se le asignó el trabajo. La planta opera ocho horas al día, o 40 horas por semana. Actualmente, las decisiones se toman con el método tradicional, que es aceptar todo lo posible del producto con el margen de contribución más alto (hasta el límite de su demanda), seguido del siguiente producto con margen de contribución más alto, y así sucesivamente, hasta que no haya más capacidad disponible. Pedro Rodríguez, el supervisor de producción recién contratado, tiene conocimientos acerca de la teoría de restricciones y la programación basada en cuellos de botella. Él piensa que la rentabilidad sin duda mejoraría si los recursos del cuello de botella se explotan o desglosan para determinar la mezcla de productos. ¿Cuál es el cambio en las ganancias si en lugar del método tradicional que usa Diablo Electronics se utiliza el método de cuello de botella que propone Pedro para seleccionar la mezcla de productos?

SOLUCIÓN

Regla de decisión 1: método tradicional

Seleccionar la mejor mezcla de productos de acuerdo con la contribución marginal más alta de cada producto.

Paso 1. Calcular el margen de contribución por unidad de cada producto como se muestra en la tabla.

	A	B	C	D
Precio	$75.00	$72.00	$45.00	$38.00
Materias primas y partes compradas	–10.00	–5.00	–5.00	–10.00
= Contribución marginal	$65.00	$67.00	$40.00	$28.00

Cuando se ordenan de mayor a menor, la secuencia de estos productos según el margen de contribución por unidad es B, A, C, D.

Paso 2. Asignar recursos V, W, X, Y y Z a los productos en el orden decidido en el paso 1. Se satisface cada demanda hasta encontrar el recurso cuello de botella (estación X). Restar minutos de los 2,400 disponibles para cada semana en cada etapa.

Centro de trabajo	Minutos al inicio	Minutos restantes después de hacer 80 B	Minutos restantes después de hacer 60 A	Solo puede hacer 40 C	Todavía puede hacer 100 D
V	2,400	2,400	600	600	600
W	2,400	2,400	2,400	2,200	700
X	2,400	800	200	0	0
Y	2,400	1,600	1,000	800	300
Z	2,400	2,400	2,400	2,200	1,200

La mejor mezcla de productos según este enfoque tradicional es entonces 60 A, 80 B, 40 C y 100 D.

Paso 3. Calcule el rendimiento de la mezcla de productos seleccionada.

	Ganancias	
Ingreso	(60 × $75) + (80 × $72) + (40 × $45) + (100 × $38)	= $15,860
Materiales	(60 × $10) + (80 × $5) + (40 × $5) + (100 × $10)	= –$2,200
Mano de obra	(5 trabajadores) × (8 horas/día) × (5 días/semana) × ($18/hora)	= –$3,600
Gastos generales		= –$8,500
Ganancia		= $1,560

Fabricar la mezcla de productos 60 A, 80 B, 40 C y 100 D dará una ganancia de $1,560 por semana.

Regla de decisión 2: método del cuello de botella

Seleccionar la mejor mezcla de productos de acuerdo con la contribución marginal en dólares por minuto de tiempo de procesamiento en la estación X cuello de botella. Este método aprovecha los principios descritos en la teoría de restricciones y obtiene el mayor beneficio en dólares del cuello de botella.

Paso 1. Calcular la contribución marginal/minuto del tiempo de procesamiento en la estación X cuello de botella:

	Producto A	Producto B	Producto C	Producto D
Contribución marginal	$65.00	$67.00	$40.00	$28.00
Tiempo en cuello de botella	10 minutos	20 minutos	5 minutos	0 minutos
Contribución marginal por minuto	$6.50	$3.35	$8.00	No definido

Cuando se ordena la contribución marginal/minuto en el cuello de botella de mayor a menor, la secuencia de fabricación de estos productos es D, C, A, B; es decir, el orden inverso del anterior. El producto D se programa primero porque no consume recursos del cuello de botella.

Paso 2. Asignar los recursos V, W, X, Y y Z a los productos en el orden decidido en el paso 1. Se satisface cada demanda hasta encontrar el recurso cuello de botella (estación de trabajo X). Restar minutos de los 2,400 disponibles para cada semana en cada etapa.

Centro de trabajo	Minutos al inicio	Minutos restantes después de hacer 100 D	Minutos restantes después de hacer 80 C	Minutos restantes después de hacer 60 A	Solo puede hacer 70 B
V	2,400	2,400	2,400	600	600
W	2,400	900	500	500	500
X	2,400	2,400	2,000	1,400	0
Y	2,400	1,900	1,500	900	200
Z	2,400	1,400	1,000	1,000	1,000

La mejor mezcla de productos de acuerdo con el enfoque basado en el cuello de botella es entonces 60 A, 70 B, 80 C y 100 D.

Paso 3. Calcule la rentabilidad de la mezcla de productos seleccionada.

	Ganancias	
Ingreso	(60 × $75) + (70 × $72) + (80 × $45) + (100 × $38)	= $16,940
Materiales	(60 × $10) + (70 × $5) + (80 × $5) + (100 × $10)	= –$2,350
Mano de obra	(5 trabajadores) × (8 horas/día) × (5 días/semana) × ($18/hora)	= –$3,600
Gastos generales		= –$8,500
Ganancia		= $2,490

Fabricar la mezcla de productos de 60 A, 70 B, 80 C y 100 D dará una ganancia de $2,490 por semana.

PUNTO DE DECISIÓN

Al enfocarnos en los recursos cuello de botella al aceptar las órdenes de los clientes y determinar la mezcla de productos, la secuencia en la que se eligen los productos para fabricación se invierte de **B, A, C, D** *a* **D, C, A, B**. En consecuencia, la mezcla de productos cambia de 60 A, 80 B, 40 C y 100 D a 60 A, 70 B, 80 C y 100 D. El incremento en las ganancias al usar el método de cuello de botella es $930 ($2,490 – $1,560) o casi 60% sobre el enfoque tradicional.

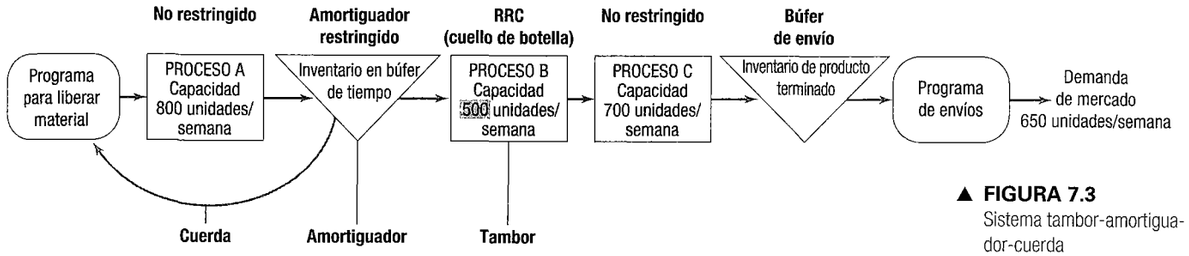
La programación lineal (vea el suplemento D, enseguida del capítulo 16) también se puede usar para encontrar la mejor mezcla de productos en el ejemplo 7.3. Debe observarse, sin embargo, que el problema en el ejemplo 7.3 no incluye tiempos de preparación significativos. De otra manera, debe tomarse en cuenta no solo para identificar el cuello de botella, sino también para determinar la mezcla de productos. El ejercicio de aprendizaje experiencial de Min-Yo Garment Company al final de este capítulo proporciona una ilustración interesante de cómo determinar la mezcla de productos cuando los tiempos de preparación son significativos. De esta manera, los principios que fundamentan la teoría de restricciones se pueden aprovechar para tomar mejores decisiones acerca de la mezcla de productos más rentable para la empresa.

tambor-amortiguador- cuerda (DBR)

Es un sistema de planeación y control que regula el flujo de materiales de trabajo en proceso en el cuello de botella o recurso restringido en capacidad (RRC) en un sistema productivo.

Sistemas de tambor-amortiguador-cuerda El método de tambor-amortiguador-cuerda (DBR, *drum-buffer-rope*) es un sistema de planeación y control basado en la teoría de restricciones que se usa con frecuencia en las empresas de manufactura para planear y programar la producción. Funciona regulando el flujo de los materiales de trabajo en proceso en el cuello de botella o recurso restringido en capacidad (RRC). El programa del cuello de botella es el *tambor* porque establece el paso o la tasa de producción para toda la planta y está ligado a la demanda del mercado. El *amortiguador* es un margen de tiempo (búfer de tiempo) que planea los flujos previos hacia el cuello de botella y con ello lo protege de interrupciones. También asegura que el cuello de botella nunca esté sin trabajo. Un amortiguador de inventario de producto terminado también se puede colocar antes del punto de envío, con el fin de proteger la programación de envíos al cliente. Por último, la *cuerda* representa la liga de la liberación de material al ritmo del tambor, que es la tasa a la que el cuello de botella controla la salida de toda la planta. Entonces, se dice que es un dispositivo de comunicación para asegurar que la materia prima no se introduzca en el sistema a una tasa mayor de la que puede manejar el cuello de botella. Al completar el ciclo, la *administración del amortiguador* monitorea la ejecución del trabajo que llega al cuello de botella. Trabajando juntos, el tambor, el amortiguador y la cuerda ayudan a los administradores a crear un programa de producción que reduzca los tiempos de entrega y los inventarios, al tiempo que incrementa la salida y la entrega a tiempo.

Para comprender mejor el sistema de tambor-amortiguador-cuerda, considere la distribución esquemática mostrada en la figura 7.3. El proceso B, con una capacidad de solo 500 unidades por semana, es el cuello de botella porque antes, el proceso A y después, el proceso C tienen capacidades de 800 y 700 unidades por semana, respectivamente, y la demanda del mercado es de 650 unidades por semana, en promedio. En este caso, el búfer o margen de tiempo, que puede tener la forma de materiales que llegan antes de lo necesario, se coloca justo antes del cuello de botella (proceso B). Un margen de envío, en la forma de inventario de productos terminados, también se puede colocar antes del programa de envío para proteger las órdenes de los clientes que son firmes. Por último, una cuerda vincula el programa de liberación del material para que esté de acuerdo con el paso del tambor, o la programación, en el cuello de botella. El ritmo del tambor jala flujo del material hacia adelante antes del cuello de botella, al tiempo que se empuja hacia adelante para que llegue al cliente que sigue al cuello de botella.



▲ **FIGURA 7.3**
Sistema tambor-amortiguador-cuerda

El DBR lucha específicamente para mejorar la salida utilizando mejor el recurso del cuello de botella y protegiéndolo de interrupciones mediante el búfer de tiempo y amortiguando la capacidad en los otros procesos. Entonces, mientras el lote del proceso en el DBR es de cualquier tamaño que minimice las preparaciones y mejore la utilización en el cuello de botella, en los recursos no restringidos los lotes del proceso son iguales a lo necesario para la producción en ese tiempo. El material, por tanto, puede liberarse en lotes pequeños conocidos como lotes de transferencia en el punto de liberación, que después se combinan en el amortiguador de restricción para hacer un lote de proceso completo en el cuello de botella. Los lotes de transferencia pueden ser tan pequeños como una unidad para permitir que una estación de trabajo posterior comience a trabajar en un lote antes de estar completamente terminado en el proceso anterior. Utilizar lotes de transferencia en general facilita una reducción en el tiempo de entrega global.

El DBR es un sistema efectivo cuando un producto de la empresa es relativamente sencillo y el proceso de producción tiene más flujos de línea. En este caso la planeación se simplifica mucho y depende principalmente de la programación del recurso restringido y de activar otros puntos para cumplir el programa del cuello de botella. La implantación efectiva de un sistema DBR requiere la comprensión de los principios de la teoría de restricciones. Sin embargo, esos sistemas se pueden utilizar en muchos tipos distintos de organizaciones de manufactura y servicio, ya sea por sí mismo o en conjunto con otros sistemas de planeación y control de la producción. La práctica administrativa 7.1 ilustra cómo el DBR mejoró el desempeño del centro de mantenimiento del Cuerpo de Marines en Albany, Georgia.

PRÁCTICA ADMINISTRATIVA 7.1 El sistema tambor-amortiguador-cuerda en el centro de mantenimiento del Cuerpo de Marines de Estados Unidos

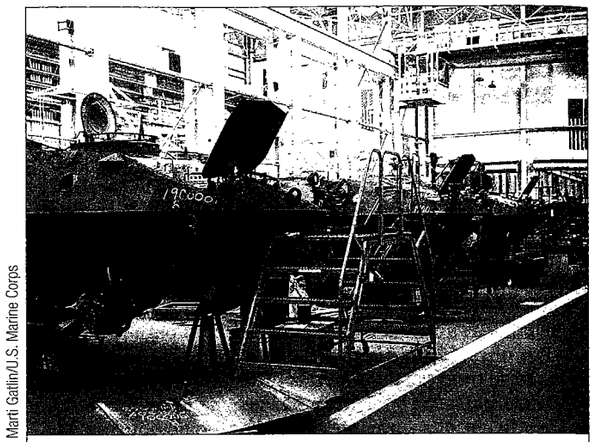
El centro de mantenimiento del U.S. Marine Corps en Albany, Georgia, revisa y repara los vehículos usados por el Cuerpo de marines, como tanques de combustible, camiones, equipo para mover la tierra, vehículos anfibios y vehículos con armamento ligero. El proceso de revisión comienza con el desensamble de cada vehículo para determinar la cantidad y la naturaleza del trabajo que deben realizar. El tipo y la duración de la reparación pueden variar enormemente, incluso para el mismo tipo de vehículo. Ante la incertidumbre, el Centro luchaba hasta hace cuatro años para terminar las reparaciones de los equipos a tiempo y tenía un retraso creciente que superar. Por ejemplo, el Centro solo podía reparar alrededor de cinco MK-48 (transporte de trabajo pesado) por mes, cuando el doble de MK-48, 10 por mes, necesitaba reparación. Diferentes unidades de la corporación amenazaban con desviar sus órdenes a las compañías de reparación del sector privado.

Los principios de TOC se usaron para identificar los cuellos de botella en el taller. Sin embargo, después de estudiar con detalle las operaciones del Centro, contrario a las expectativas de todos, se descubrió que se disponía de capacidad más que suficiente para reparar y renovar 10 MK-48 por mes. El problema no era la capacidad, sino el sistema de programación del Centro.

Los productos se empujaban en la planta sin importar el estado de los recursos. Así, lo que el Centro requería era una política relacionada con las restricciones para el proceso de programación, no un recurso restringido físico real.

Con el fin de mejorar el desempeño del Centro, sus administradores implementaron una forma simplificada del sistema de tambor-amortiguador-cuerda, como el que se muestra en la figura 7.3. Como el Centro de Mantenimiento del Cuerpo de Marines no estaba restringido por los recursos internos, el tambor en un sistema simplificado se basaba en órdenes firmes. Al llegar las órdenes, se hace una revisión rápida para medir la carga total que tiene que manejar el recurso menos capaz del centro. Si el recurso no tiene una carga pesada, la orden se acepta y se libera al taller para procesar. La cuerda enlaza la programación del envío directamente con la liberación del material programada en lugar del programa del cuello de botella y el único amortiguador que se conserva es el del envío. Este sistema simplificado se enfoca simplemente en la demanda del mercado para las reparaciones.

Los resultados del Centro después del cambio fueron impresionantes. El ciclo de reparación se redujo de un promedio de 167 a 58 días, los niveles de trabajo en proceso se redujeron de 550% de demanda a 140% y el costo de reparar los productos bajó de 25 a 30% debido al incremento en la salida. La habilidad del Centro para reparar los MK-48 también se volvió más flexible. De hecho, ahora puede reparar hasta 23 de ellos por mes. El Centro trabaja a tiempo en 99% de sus líneas de producción, donde los principios de la TOC se han implementado y los costos de reparación han disminuido 25%. Llevar a cabo estas sencillas mejoras hizo que el centro de mantenimiento de Albany fuera una operación de reparación y remodelación de clase mundial.



Marti Gatlin/U.S. Marine Corps

Las reparaciones de vehículos de asalto puede variar enormemente en el Centro de Mantenimiento del U.S. Marine Corps en Albany, Georgia. El Centro luchaba por mantener sus reparaciones hasta que los administradores implementaron una forma simplificada del sistema tambor-amortiguador-cuerda. ¿El resultado? Los tiempos de reparación disminuyeron de 167 a solo 58 días en promedio.

Fuente: Mandyam Srinivasan, Darren Jones y Alex Miller, "Applying Theory of Constraints Principles and Lean Thinking at the Marine Corps Maintenance Center", *Defense Acquisition Review Journal*, agosto-noviembre, 2004; M. Srinivasan, Darren Jones y Alex Miller, "Corps Capabilities", APICS Magazine (marzo, 2005), pp. 46-50.

Administración de restricciones en un proceso en línea

Como se observó en el capítulo 3, "Estrategia de procesos", los productos creados por un proceso en línea incluyen ensamblaje de computadoras, automóviles, electrodomésticos y juguetes. Estas líneas de ensamblaje pueden existir también al proporcionar servicios. Por ejemplo, preparar una hamburguesa estandarizada con una secuencia fija de pasos es parecido a operar una línea de ensamblaje. Mientras que la mezcla de productos o los volúmenes de demanda no cambian con tanta rapidez para los procesos en línea como para los procesos por trabajo o por lote, la carga puede cambiar entre los centros de trabajo en una línea conforme cambia el producto final que se ensambla o se altera la tasa total de salida de la línea. Las restricciones que surgen con estas acciones se manejan equilibrando la carga de trabajo entre las distintas estaciones en la línea, lo cual se explicará con detalle en seguida.

Balanceo de líneas

balanceo de líneas
Asignación del trabajo a las estaciones en un proceso en línea de manera que se logre la tasa de salida deseada con el menor número de estaciones de trabajo.

El **balanceo de líneas** es la asignación del trabajo a las estaciones en un proceso en línea de manera que se logre la tasa de salida deseada con el menor número de estaciones de trabajo. Lo normal es que un trabajador se asigne a una estación. Así, la línea que produce al paso deseado con el menor número de trabajadores es la más eficiente. Lograr esta meta es muy semejante a la teoría de restricciones, porque ambos enfoques se centran en los cuellos de botella. Balancear una línea difiere en la manera de abordar los cuellos de botella. En lugar de: **1.** tomar las nuevas órdenes de los clientes para utilizar de la mejor manera la capacidad del cuello de botella o **2.** programar de modo que los recursos cuello de botella se conserven, el balanceo de líneas toma un tercer enfoque, o bien, **3.** crea estaciones de trabajo con cargas tan parejas o balanceadas como sea posible. Busca crear estaciones de trabajo para que la utilización de la capacidad para el cuello de botella no sea mucho más alta que para las otras estaciones en la línea. Otra diferencia es que el balanceo de líneas se aplica solo a procesos en línea que hacen trabajo de ensamble, o a trabajo que pueda agruparse de muchas maneras para crear los trabajos de cada estación en la línea. Este sistema simplificado no requiere ningún software DBR especializado. La última situación se puede encontrar tanto en la manufactura como en los entornos de servicio.

El balanceo de línea debe realizarse inicialmente cuando la línea se establece, cuando una línea se rebalancea para cambiar su salida por hora o cuando un producto o proceso cambia. La meta es obtener estaciones de trabajo con cargas bien balanceadas (por ejemplo, cada estación toma cerca de tres minutos por cliente en una línea de cafetería con diferentes estaciones de trabajo).

elementos de trabajo
Unidades más pequeñas de trabajo que se pueden realizar de manera independiente.

El analista comienza por separar el trabajo en **elementos de trabajo**, que son las unidades más pequeñas de trabajo que pueden realizarse de manera independiente. Luego obtiene el tiempo estándar para cada elemento e identifica los elementos de trabajo, llamados **predecesores inmediatos**, que deben realizarse antes de iniciar el siguiente elemento.

predecesores inmediatos
Elementos de trabajo que deben realizarse antes de poder iniciar el siguiente elemento.

diagrama de precedencias
Es un diagrama que permite visualizar mejor a los predecesores inmediatos; los elementos de trabajo se denotan por círculos, con el tiempo requerido para realizar el trabajo que se muestra debajo de cada uno.

Diagrama de precedencia La mayoría de las líneas satisfacen algunos requerimientos de precedencia tecnológica; es decir, ciertos elementos de trabajo que deben realizarse antes de comenzar el siguiente. Sin embargo, la mayoría de las líneas también permite cierta libertad y más de una secuencia de operaciones. Para ayudarle a visualizar los predecesores inmediatos, observemos la elaboración de un **diagrama de precedencias.**[2] Se denotan los elementos de trabajo por círculos, con el tiempo requerido para realizar el trabajo que se muestra debajo de cada uno. Las flechas van del predecesor inmediato al siguiente elemento de trabajo. El ejemplo 7.4 ilustra un proceso de manufactura, pero un proceso de flujo en línea de una oficina atrás en un entorno de servicio se puede abordar de manera similar.

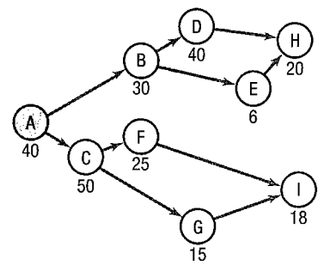
EJEMPLO 7.4 Construcción del diagrama de precedencias

Green Grass, Inc., un fabricante de equipo para jardín, está diseñando una línea de ensamblaje para producir un nuevo esparcidor de fertilizante, el Big Broadcaster. Utilice solo la siguiente información del proceso de producción para construir un diagrama de precedencia para el Big Broadcaster.

Elemento de trabajo	Descripción	Tiempo (s)	Predecesores inmediatos
A	Atornillar marco de patas a la tolva	40	Ninguno
B	Insertar árbol de impulsor	30	A
C	Fijar eje	50	A
D	Fijar agitador	40	B
E	Fijar tracción	6	B
F	Fijar rueda libre	25	C
G	Montar poste inferior	15	C
H	Fijar controles	20	D, E
I	Montar placa del fabricante	18	F, G
		Total 244	

SOLUCIÓN

La figura 7.4 muestra el diagrama completo. Comenzamos con el elemento de trabajo A, que no tiene predecesores inmediatos. Luego, agregamos los elementos B y C, para los cuales el elemento A es el único predecesor inmediato. Después de colocar los estándares de tiempo y las flechas que muestran los predecesores, agregamos los elementos D y E, y así sucesivamente. El diagrama simplifica la interpretación. El elemento de trabajo F, por ejemplo, se puede hacer en cualquier parte de la línea después de terminar el elemento C. No obstante, el elemento I espera la terminación de los elementos F y G.



◀ **FIGURA 7.4**
Diagrama de precedencias para el ensamblaje del Big Broadcaster

PUNTO DE DECISIÓN

La administración ahora tiene suficiente información para desarrollar una distribución de flujo en línea que agrupa elementos de trabajo para formar estaciones de trabajo, con la meta de equilibrar las cargas de trabajo y, en el proceso, minimizar el número requerido de estaciones.

Tasa de salida requerida La meta del balanceo de líneas es igualar la tasa de salida con el plan de producción o de contratación de personal. Por ejemplo, si el plan requiere 4,800 unidades o clientes por semana y la línea opera 80 horas por semana, la tasa de salida deseada ideal sería 60 unidades o clientes (4,800/80) por hora. Igualar la salida del plan asegura la entrega a tiempo y previene que se acumule inventario no deseado o retrasos para los clientes. Sin embargo, los administradores deben evitar rebalancear una línea con demasiada frecuencia porque cada vez que lo hacen muchos trabajadores o trabajos en la línea deben rediseñarse, lo cual daña la productividad por un tiempo y algunas veces requiere cambios en la distribución para algunas estaciones.

[2] Las relaciones de precedencia y los diagramas de precedencia también son importantes en contextos completamente diferentes de la administración de proyectos cubiertos en el capítulo 2.

tiempo de ciclo
Tiempo máximo permitido para trabajar en una unidad en cada estación.

Tiempo de ciclo Después de determinar la tasa de salida deseada, el analista puede calcular el tiempo de ciclo en la línea. El **tiempo de ciclo** en la línea es el tiempo máximo permitido para trabajar en una unidad en cada estación.[3] Si el tiempo requerido para los elementos de trabajo en una estación excede el tiempo de ciclo de la línea, la estación será un cuello de botella que no permitirá a la línea lograr la tasa de salida deseada. El tiempo de ciclo meta es el recíproco de la tasa de salida por hora deseada:

$$c = \frac{1}{r}$$

donde:

c = tiempo de ciclo requerido por unidad

r = tasa de salida deseada en unidades por hora

Por ejemplo, si la tasa de salida deseada es de 60 unidades por hora, el tiempo de ciclo es $c = 1/60$ unidades por hora o un minuto por unidad.

Mínimo teórico Para lograr la tasa de salida deseada, los administradores utilizan balanceo de líneas para asignar cada elemento de trabajo a una estación, asegurando la satisfacción de todos los requerimientos de precedencia y minimizando el número de estaciones, n, establecido. Si cada estación es operada por un trabajador diferente, al minimizar n también se maximiza la productividad del trabajador. El balance perfecto se logra cuando la suma de los tiempos de los elementos de trabajo en cada estación es igual al tiempo de ciclo, c, y ninguna estación tiene tiempo ocioso. Por ejemplo, si la suma de los tiempos de los elementos de trabajo en cada estación es un minuto, que también es el tiempo de ciclo, la línea logra un balance perfecto. Aunque en general el balance perfecto no se logra en la práctica debido a la desigualdad entre los tiempos de los elementos de trabajo y la inflexibilidad de los requerimientos de precedencia, establece un punto de comparación o meta para el número más pequeño posible de estaciones. El **mínimo teórico (MT)** para el número de estaciones es:

mínimo teórico (MT)
Punto de comparación o meta para el menor número de estaciones posibles, donde el tiempo total requerido para ensamblar cada unidad (la suma de los tiempos estándar de todos los elementos de trabajo) se divide entre el tiempo de ciclo.

$$\text{MT} = \frac{\Sigma t}{c}$$

donde:

Σt = tiempo total requerido para ensamblar cada unidad (suma de todos los tiempos estándar de los elementos de trabajo)

c = tiempo de ciclo

Por ejemplo, si la suma de los tiempos de los elementos de trabajo es 15 minutos y el tiempo de ciclo es un minuto, MT = 15/1 o 15 estaciones. Los valores fraccionales obtenidos para **MT** se redondean porque no es posible tener fracciones de estaciones.

Tiempo ocioso, eficiencia y retraso de balanceo Minimizar n de manera automática asegura: **1.** tiempo ocioso mínimo, **2.** eficiencia máxima y **3.** retraso de balanceo mínimo. El tiempo ocioso es el tiempo improductivo total para todas las estaciones de cada unidad:

$$\text{Tiempo ocioso} = nc - \Sigma t$$

donde:

n = número de estaciones

c = tiempo de ciclo

Σt = tiempo estándar total requerido para ensamblar cada unidad

La eficiencia es la razón de tiempo productivo a tiempo total, expresada como porcentaje:

$$\text{Eficiencia (\%)} = \frac{\Sigma t}{nc}(100)$$

retraso de balanceo
Cantidad por la que la eficiencia es menor que 100 por ciento.

El **retraso de balanceo** es la cantidad en la que la eficiencia es menor que 100:

$$\text{Retraso de balanceo (\%)} = 100 - \text{eficiencia}$$

Mientras que c sea fijo, podemos optimizar las tres metas si minimizamos n.

[3]Excepto en el contexto del balanceo de líneas, el *tiempo de ciclo* tiene un significado diferente. Es el tiempo que transcurre entre el inicio y la terminación de un trabajo. Algunos investigadores y practicantes prefieren el término *tiempo de entrega*.

Nataliya Hora/Shutterstock.com

Línea de ensamble de Skoda Automotive en Mlada Boleslav. Desde 1991, Skoda ha sido una parte de Volkswagen, por más de 20 años.

EJEMPLO 7.5 Cálculo del tiempo de ciclo, el mínimo teórico y la eficiencia

La gerente de la planta de Green Grass acaba de recibir los últimos pronósticos de marketing para las ventas de Big Broadcaster en el siguiente año. Ella quiere rediseñar su línea de producción para hacer 2,400 esparcidores por semana durante los siguientes tres meses por lo menos. La planta opera 40 horas a la semana.

a) ¿Cuál debe ser el tiempo de ciclo de la línea?

b) ¿Cuál es el menor número de estaciones que debe tener al diseñar la línea para este tiempo de ciclo?

c) Suponga que encuentra una solución que requiere solo cinco estaciones. ¿Cuál sería la eficiencia de la línea?

MyOMLab
El tutor 7.1 en MyOMLab proporciona otro ejemplo para calcular estas medidas del balanceo de líneas.

SOLUCIÓN

a) Primero, se convierte la tasa de salida deseada (2,400 unidades por semana) a una tasa en horas dividiendo la tasa de salida semanal entre 40 horas por semana para obtener r = 60 unidades por hora. Luego, el tiempo de ciclo es:

$$c = 1/r = 1/60 \text{ (horas/unidad)} = 1 \text{ minuto/unidad} = 60 \text{ segundos/unidad}$$

b) Ahora calcule el mínimo teórico para el número de estaciones dividiendo el tiempo total, Σt, entre el tiempo de ciclo, c = 60 segundos. Suponiendo un balance perfecto, tenemos:

$$\text{MT} = \frac{\Sigma t}{c} = \frac{244 \text{ segundos}}{60 \text{ segundos}} = 4.067 \text{ o } 5 \text{ estaciones}$$

c) Ahora se calcula la eficiencia de la solución de cinco estaciones, suponiendo por ahora que se pueden encontrar una:

$$\text{Eficiencia (\%)} = \frac{\Sigma t}{nc}(100) = \frac{244}{5(60)}(100) = 81.3\%$$

PUNTO DE DECISIÓN

Si la administradora encuentra una solución con cinco estaciones que satisface todas las restricciones de precedencia, entonces esa es la solución óptima; tiene el menor número posible de estaciones. Sin embargo, la eficiencia (algunas veces llamada *eficiencia máxima teórica*) será solo 81.3%. Tal vez la línea deba operar menos de 40 horas por semana (ajustando con ello el ciclo de tiempo) y los empleados deban ser transferidos a otros tipos de trabajos cuando la línea no opere.

Encontrar una solución Con frecuencia existen muchas soluciones para líneas de ensamble posibles, aun para problemas tan sencillos como el de Green Grass. La meta es agrupar los elementos de trabajo en estaciones de trabajo de manera que: **1.** el número de estaciones de trabajo sea mínimo y **2.** los requerimientos de precedencia y tiempo de ciclo no sean afectados. La idea es asignar los elementos de trabajo a las estaciones sujetas a los requerimientos de precedencia para que el contenido de trabajo en cada estación sea igual a (o cercano, pero menor que) el tiempo de ciclo para la línea. De esta manera, el número de estaciones de trabajo será el mínimo.

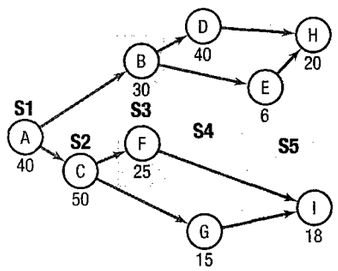
Aquí se usa el método de prueba y error para encontrar una solución, aunque también existen paquetes de software comerciales. La mayoría de estos paquetes utilizan diferentes reglas de decisión para elegir los elementos de trabajo que se asignan a la siguiente estación de trabajo que se crea. Los que usa POM para Windows se describen en la tabla 7.3. Podemos examinar las soluciones para mejorarlas porque no hay garantía de que sean óptimas, ni siquiera factibles. Algunos elementos de trabajo no se pueden asignar a la misma estación, es posible hacer algunos cambios para reducir el número de estaciones, o algunos cambios de turno tal vez den un mejor balanceo entre las estaciones.

TABLA 7.3 | REGLAS DE DECISIÓN HEURÍSTICAS PARA ASIGNAR EL SIGUIENTE ELEMENTO A UNA ESTACIÓN DE TRABAJO QUE SE CREA

Crear una estación a la vez. Para la estación que se crea, identificar los elementos de trabajo no asignados que califican para asignación. Son candidatos si:

1. **Todos sus predecesores se han asignado a esta estación o a estaciones ya creadas.**
2. **Agregarlos a la estación de trabajo que se crea no genera cargas de trabajo que excedan el tiempo de ciclo.**

Regla de decisión	Lógica
Elemento de trabajo más largo	Elegir el candidato con el tiempo más largo para terminar es un esfuerzo para incluir primero el elemento más difícil, dejando los de tiempos cortos para "llenar" la estación
Elemento de trabajo más corto	Esta regla es opuesta a la del elemento de trabajo más largo porque da preferencia a los elementos que son más rápidos en las asignaciones. Se puede intentar porque no existe una sola regla que garantice la mejor solución. Puede proporcionar otra solución para que el planeador considere
Elemento con más seguidores	Al elegir el siguiente elemento de trabajo para asignar a una estación que se crea, elegir el elemento que tiene más *seguidores* (debido a los requerimientos de precedencias). En la figura 7.4, el elemento C tiene tres seguidores (F, G e I) mientras que el elemento D tiene solo un seguidor (H). Esta regla busca mantener flexibilidad para que queden buenas elecciones para crear las últimas estaciones al final de la línea
Elemento con menos seguidores	Elegir candidatos con menos seguidores es el opuesto de la regla de más seguidores



▲ **FIGURA 7.5**
Solución de diagrama de precedencias para Big Broadcaster

La figura 7.5 muestra una solución que crea solo cinco estaciones de trabajo. Sabemos que cinco es el mínimo posible, porque es el mínimo teórico encontrado en el ejemplo 7.5. Todos los requerimientos de precedencias y tiempos de ciclo también se satisfacen. Por lo tanto, la solución es óptima para este problema. Cada trabajador en cada estación debe realizar los elementos de trabajo en la secuencia apropiada. Por ejemplo, la estación S5 consiste en un trabajador que realiza los elementos de trabajo E, H e I en cada unidad que llega por la línea de ensamble. El tiempo de procesado por unidad es 44 segundos (6 + 20 + 18) que no excede el tiempo de ciclo de 60 segundos (véase el ejemplo 7.5). Más aún, los predecesores inmediatos de estos tres elementos de trabajo están asignados a esta estación o alguna anterior para que se satisfagan sus requerimientos. El trabajador en la estación de trabajo S5 puede hacer elemento I en cualquier momento, pero no inicia el elemento H hasta que E esté terminado.

Consideraciones administrativas

Además de balancear una línea para un tiempo de ciclo dado, los administradores deben hacer otras cuatro consideraciones: **1.** el ritmo, **2.** los factores de comportamiento, **3.** el número de modelos producidos y **4.** los diferentes tiempos de ciclo.

Movimiento de paso El movimiento de un producto de una estación a la siguiente en cuanto transcurre el tiempo de ciclo se llama **movimiento de paso**. Controlar el movimiento de paso de los procesos de manufactura permite automatizar el manejo de materiales y requiere un área menor para inventario. Sin embargo, es menos flexible para manejar retrasos inesperados que requieren ya sea ir más despacio en toda la línea o sacar trabajo sin terminar fuera de la línea para completarlo después.

movimiento de paso
Movimiento de un producto de una estación a la siguiente tan pronto como pasa el tiempo de ciclo.

Factores de comportamiento El aspecto más controversial de las distribuciones de los flujos en línea es la respuesta de comportamiento. Los estudios muestran que instalar líneas de producción

aumenta ausentismo, rótación de personal y quejas. La producción con control de movimiento de paso y la alta especialización (digamos, tiempos de ciclo menores que dos minutos) bajan la satisfacción en el trabajo. Los trabajadores en general están a favor de los amortiguadores de inventario como medio para evitar el control mecánico del movimiento de paso; un estudio mostró incluso que la productividad fue mayor en líneas no forzadas a cierto movimiento de paso.

Número de modelos producidos Una línea que produce varios artículos de la misma familia se llama **línea de modelo mixto**. Al contrario de esta, una línea de un solo modelo produce un modelo sin variaciones. El modelo de producción mixta permite a una planta lograr un alto volumen de producción *y* una variedad de productos. Sin embargo, complica la programación y aumenta la necesidad de una buena comunicación acerca de las partes específicas que debe producir cada estación.

línea de modelo mixto
Línea de producción que fabrica varios artículos que pertenecen a la misma familia.

Tiempos de ciclo El tiempo de ciclo de una línea depende de la tasa de salida deseada (o algunas veces el máximo número de estaciones de trabajo permitidas). A su vez, la eficiencia máxima de la línea varía considerablemente con el tiempo de ciclo seleccionado. Entonces, tiene sentido explorar un rango de tiempo del ciclo. Un administrador puede favorecer una solución particularmente eficiente, aun cuando no se ajuste a la tasa de salida deseada. El administrador compensará la diferencia variando el número de horas que opera la línea mediante tiempo extra, turnos extendidos o agregando turnos. Las líneas múltiples podrían ser la respuesta.

REPASO DE LAS METAS DE APRENDIZAJE

1. **Explicar la teoría de restricciones.** Las restricciones y los cuellos de botella pueden existir en la forma de recursos internos o demanda de mercado en organización de manufactura y de servicio, y tienen un papel importante para determinar el desempeño del sistema. Veasé la sección "Teoría de restricciones (TOC)", pp. 245-247. Revise la viñeta de apertura sobre Limpieza del derrame de petróleo de la BP como aplicación de la TOC.
2. **Comprender la relación de las restricciones de capacidad con las medidas de desempeño financiero.** Revise y comprenda la tabla 7.1 en la página 245.
3. **Identificar cuellos de botella.** La TOC proporciona una guía de cómo identificar y manejar las restricciones. La sección "Identificación y administración de cuellos de botella", pp. 247-254, muestra cómo identificar los cuellos de botella en las empresas de servicio y de manufactura.
4. **Aplicar la teoría de restricciones a las decisiones de mezcla de productos.** Revise el ejemplo 7.3 en las páginas 250-251 para comprender cómo utilizar los métodos basados en cuellos de botella para asignar recursos y determinar la mezcla de productos que lleva a las ganancias más altas.
5. **Describir cómo administrar las restricciones en una línea de ensamble.** El balanceo de una línea de ensamble, como una forma especial de una restricción en la administración de un proceso en línea, tanto en la manufactura como en los servicios, también puede ser un mecanismo efectivo para igualar la salida con un plan y correr dichos procesos de manera más efectiva. La sección "Administración de restricciones en un proceso en línea", pp. 254-259 muestra cómo balancear líneas de ensamble y crear estaciones de trabajo. Revise el problema resuelto 2 (p. 261) para encontrar una aplicación de los principios de balanceo de líneas.

MyOMLab le ayuda a desarrollar habilidades analíticas y evaluar su avance con múltiples problemas de tiempo de proceso para el cliente promedio, actividad de cuello de botella, número máximo de clientes servidos en el cuello de botella por hora, capacidad promedio del sistema, máximo teórico del número de estaciones en una línea de ensamble, regla de decisión de elemento de trabajo más largo, eficiencia de la línea y tiempo de ciclo.

Recursos de MyOMLab	Títulos	Vínculos con el libro
Video	*Administración de restricciones en Southwest Airlines* *1st Bank Villa Italia: líneas de espera*	Administración de restricciones en toda la organización; Teoría de restricciones Identificación y manejo de cuellos de botella
Solvers de OM Explorer	Hoja de cálculo para Min-Yo Garment Company Hoja de cálculo	Requerimientos de capacidad estimados; ejemplo 6.1 (pp. 209-210); Administración de cuellos de botella en procesos de manufactura; ejemplo 7.2 (pp. 249-250)
Tutores de OM Explorer	7.1 Balanceo de líneas	Balanceo de líneas: ejemplo 7.5 (p. 257); problema resuelto 2 (p. 261)
POM para Windows	Balanceo de líneas	Balanceo de líneas: ejemplo 7.5 (p. 257); problema resuelto 2 (p. 261)
Ejercicios de simulación con SimQuick	Simulación del proceso de hacer joyeros y hacer una elección después de investigar sobre una nueva máquina	Teoría de restricciones; ejemplo 7.1 (pp. 247-248)
Ejercicio en Internet	Granite Rock Chevron	Teoría de restricciones; Identificación y manejo de cuellos de botella
Ecuaciones clave		
Biblioteca de imágenes		

Ecuaciones clave

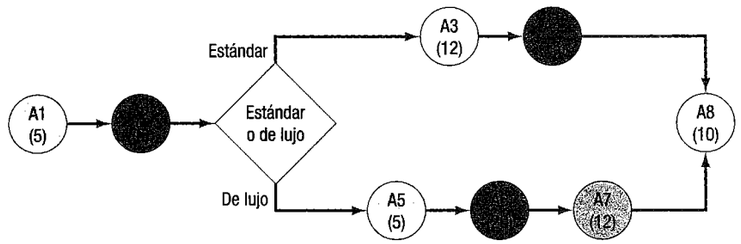
1. Tiempo de ciclo: $c = \frac{1}{r}$
2. Número mínimo teórico de estaciones de trabajo: $\text{MT} = \frac{\sum t}{c}$
3. Tiempo ocioso: $\sum t$
4. Eficiencia (%): $\frac{\sum t}{nc}(100)$
5. Retraso de balanceo (%): 100 – eficiencia

Términos clave

balanceo de líneas 254
cuello de botella 244
diagrama de precedencias 255
elemento de trabajo 254
línea de modelo mixto 259
mínimo teórico (MT) 256
movimiento de paso 258
predecesores inmediatos 255
restricción 244
retraso de balanceo 256
tambor-amortiguador-cuerda (DBR) 252
teoría de restricciones (TOC) 245
tiempo de ciclo 256
tiempo de salida, 247

Problema resuelto 1

El autolavado de Bill ofrece dos tipos de lavadas: estándar y de lujo. El flujo del proceso para ambos tipos de clientes se muestra en el siguiente diagrama. Ambos tipos de lavados se procesan primero por los pasos A1 y A2. El lavado estándar luego avanza hacia los pasos A3 y A4, mientras que el de lujo va a los pasos A5, A6 y A7. Ambos procesos terminan en la estación de secado (A8). Los números entre paréntesis indican los minutos que toma procesar cada actividad para atender a un cliente.



a) ¿Qué paso es un cuello de botella para el proceso de lavado estándar? ¿Y para el proceso de lujo?

b) ¿Cuál es la capacidad (medida en clientes atendidos por hora) del autolavado de Bill para procesar clientes estándar y de lujo? Suponga que no hay cliente esperando en los pasos A1, A2 y A8.

c) Si 60% de los clientes son estándar y 40% de lujo, ¿cuál es la capacidad promedio del autolavado en clientes por hora?

d) ¿En dónde esperaría que los clientes estándar experimenten esperas en línea, suponiendo que siempre hay nuevos clientes entrando y que no hay clientes de lujo en el autolavado? ¿Dónde tendrán que esperar los clientes de lujo, suponiendo que no hubiera clientes estándar?

SOLUCIÓN

a) El paso A4 es el cuello de botella para el proceso de lavado estándar y el paso A6 es el cuello de botella para el de lujo porque estos pasos toman el mayor tiempo en el flujo.

b) La capacidad para el lavado estándar es de cuatro clientes por hora porque el paso del cuello de botella A4 puede procesar un cliente cada 15 minutos (60/15). La capacidad para el lavado de lujo es de tres clientes por hora (60/20). Estas capacidades se derivan al traducir los "minutos por cliente" de la actividad de cada cuello de botella en "clientes por hora".

c) La capacidad promedio del lavado de autos es $(0.60 \times 4) + (0.40 \times 3) = 3.6$ clientes por hora.

d) Los clientes del lavado estándar esperan antes de los pasos A1, A2, A3 y A4 porque las actividades que las preceden inmediatamente tienen una tasa de salida más alta (esto es, tienen tiempos de procesado más cortos). Los clientes del lavado de lujo experimentan una espera antes de los pasos A1, A2 y A6 por las mismas razones. A1 está incluido en ambos tipos de lavados porque la tasa de llegada de los clientes siempre puede exceder la capacidad de A1.

Problema resuelto 2

Una compañía está estableciendo una línea de ensamblaje para producir 192 unidades por turno de ocho horas. La siguiente tabla identifica los elementos de trabajo, tiempos y predecesores inmediatos:

Elemento de trabajo	Tiempo (s)	Predecesores inmediatos
A	40	Ninguno
B	80	A
C	30	D, E, F
D	25	B
E	20	B
F	15	B
G	120	A
H	145	G
I	130	H
J	115	C, I
	Total 720	

a) ¿Cuál es el tiempo de ciclo deseado (en segundos)?

b) ¿Cuál es el número mínimo teórico de estaciones?

c) Utilice prueba y error para obtener una solución y muestre su solución en un diagrama de precedencias.

d) ¿Cuáles son la eficiencia y el retraso de balanceo de la solución encontrada?

SOLUCIÓN

a) Al sustituir en la fórmula de tiempo de ciclo obtenemos:

$$c = \frac{1}{r} = \frac{8 \text{ horas}}{192 \text{ unidades}}(3{,}600 \text{ segundos/hora}) = 150 \text{ segundos/unidad}$$

b) La suma de los tiempos de los elementos de trabajo es 720 segundos; entonces,

$$\text{MT} = \frac{\sum t}{c} = \frac{720 \text{ segundos/unidad}}{150 \text{ segundos/unidad–estación}} = 4.8 \text{ o } 5 \text{ estaciones}$$

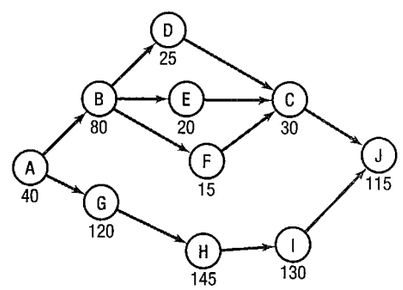
lo cual es posible que no se logre.

c) El diagrama de precedencia se muestra en la figura 7.6. Cada renglón de la siguiente tabla muestra los elementos de trabajo asignados a cada una de las cinco estaciones en la solución propuesta.

d) Al calcular la eficiencia, se tiene:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\sum t}{nc}(100) = \frac{720 \text{ segundoa/unidad}}{5[150 \text{ segundos/unidad}]} = 96\%$$

Así, el retraso de balanceo es solo de 4% (100 – 96).



▲ **FIGURA 7.6**
Diagrama de precedencias

Solución	Candidatos	Selección	Tiempo de elemento de trabajo (s)	Tiempo acumulado (s)	Tiempo ocioso (c = 150 s)
S1	A	A	40	40	110
	B	B	80	120	30
	D, E, F	D	25	145	5
S2	E, F, G	G	120	120	30
	E, F	E	20	140	10
S3	F, H	H	145	145	5
S4	F, I	I	130	130	20
	F	F	15	145	5
S5	C	C	30	30	120
	J	J	115	145	5

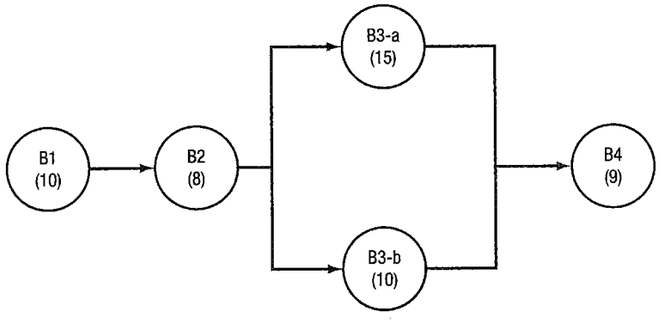
Preguntas para análisis

1. Tome un proceso que se pueda encontrar sobre una base diaria, como el almuerzo en la cafetería o el viaje desde su casa hasta la escuela/trabajo, e identifique los cuellos de botella que limitan la tasa de salida de este proceso.
2. Usando el mismo proceso que en la pregunta 1, identifique las condiciones que conduzcan a cambios en los cuellos de botella o permitan alejarse del cuello de botella existente.
3. ¿Cómo puede la eficiencia del proceso de rediseño mejorar aún más?

Problemas

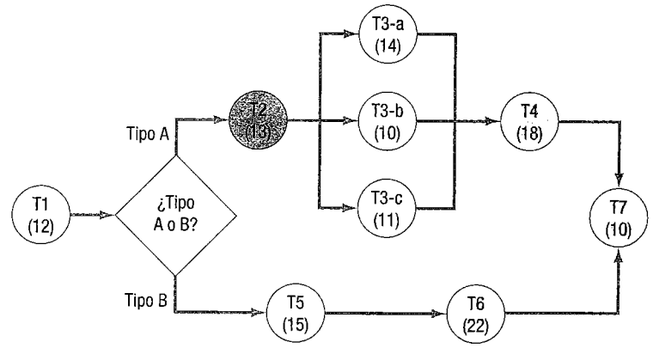
El OM Explorer y POM para Windows están disponibles para todos los estudiantes de la décima edición de este libro. Vaya a **www.pearsonhighered.com/krajewski** para bajar estos paquetes de computadora. Si compró MyOMLab, también tiene acceso al software de modelos activos y mucha ayuda para resolver los problemas siguientes. Verifique con su instructor la mejor manera de usar estos recursos. En muchos casos, el instructor le pedirá que comprenda cómo se hacen los cálculos a mano. Por lo menos, el software proporciona una verificación de sus cálculos. Cuando los cálculos son muy complejos y la meta es interpretar los resultados al tomar una decisión, el software sustituye por completo los cálculos manuales.

1. La peluquería de Bill tiene dos peluqueros disponibles para cortar el cabello a los clientes. Los dos poseen experiencia y habilidades similares, pero uno es un poco más lento que el otro. El flujo del proceso de la figura 7.7 muestra que todos los clientes van por los pasos B1 y B2 y luego pueden recibir el servicio de cualquiera de los peluqueros en el paso B3. El proceso termina para todos los clientes en el paso B4. Los números entre paréntesis indican los minutos que toma cada actividad para atender a un cliente.
   - **a)** ¿Cuánto tiempo toma atender al cliente promedio y completar este proceso?
   - **b)** ¿Qué actividad es el cuello de botella para todo el proceso?
   - **c)** ¿A cuántos clientes puede servir este proceso en una hora?



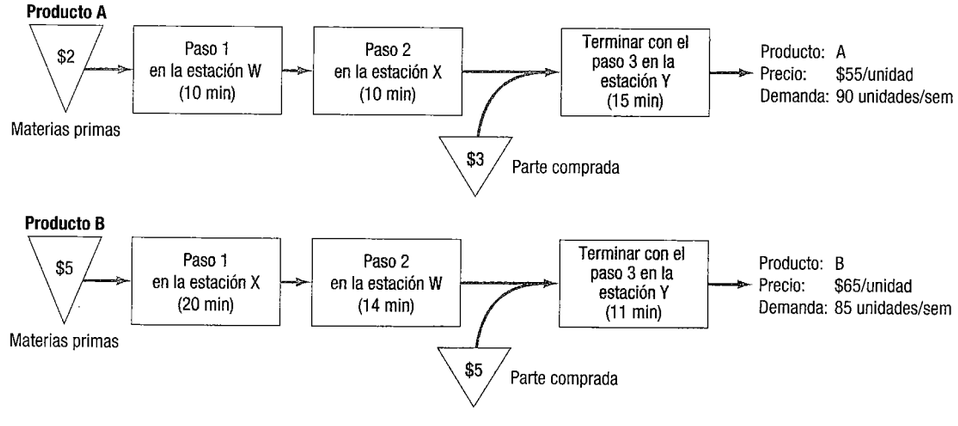
▲ **FIGURA 7.7**
Flujo del proceso para la peluquería de Bill

2. La figura 7.8 detalla el flujo del proceso para dos tipos de clientes que entran a la tienda Barbara's Boutique para modificaciones personalizadas de ropa. Después del paso T1, los clientes tipo A proceden al paso T2 y luego a cualquiera de las tres estaciones de trabajo en T3, seguido de los pasos T4 y T7. Después del paso T1, los clientes tipo B proceden a los pasos T5, T6 y T7. Los números entre paréntesis son los minutos que toma atender a un cliente.
   - **a)** ¿Cuál es la capacidad de la tienda de Bárbara en términos de los números de clientes tipo A que pueden ser servidos en una hora? Suponga que no hay clientes esperando en los pasos T1 o T7.
   - **b)** Si 30% de los clientes son tipo A y 70% son tipo B, ¿cuál es la capacidad promedio de la tienda de Bárbara en clientes por hora?
   - **c)** Suponga que la tasa de llegadas es mayor a cinco clientes por hora, ¿cuándo se espera que los clientes tipo A se encuentren en línea de espera, suponiendo que no hay clientes tipo B en la tienda? ¿Dónde tendrían que esperar los clientes tipo B suponiendo que no hubiera clientes tipo A en la tienda?



▲ **FIGURA 7.8**
Flujo del proceso para los clientes de Barbara's Boutique

3. Canine Kernels Company (CKC) fabrica dos tipos de juguetes para perro (A y B, vendidos en cajas de 1,000), que se fabrican y ensamblan en tres estaciones de trabajo (W, X y Y) usando un proceso de lotes pequeños (véase la figura 7.9). Los tiempos de preparación de lotes son insignificantes. El diagrama de flujo denota la trayectoria que sigue cada producto en el proceso de manufactura, el precio de cada producto, la demanda por semana y los tiempos de procesado por unidad también se indican. Las partes compradas y las materias primas consumidas durante la producción se representan por triángulos invertidos. CKC puede hacer y vender hasta el límite de su demanda por semana; no se incurre en penalizaciones por no cumplir toda la demanda. Cada estación de trabajo tiene un trabajador dedicado a laborar solo en esa estación de trabajo y se le paga $6 por hora. Los costos totales de mano de obra por semana son fijos. Los costos generales variables son $3,500/semana. La planta opera un turno de 8 horas por día o 40 horas/semana. ¿Cuál de las tres estaciones, W, X o Y, tiene la mayor carga de trabajo agregada y por ello sirve de cuello de botella en CKC?



▲ **FIGURA 7.9**
Diagrama de flujo para Canine Kernels Company (CKC)

4. La alta administración en Canine Kernels Company (CKC) está preocupada por la limitación de capacidad existente, por lo que quieren acceder a la mezcla de órdenes que maximice las ganancias de la compañía. Por tradición, CKC ha utilizado un método con el que se toman decisiones para producir lo más posible del producto con la contribución marginal más alta (hasta el límite de la demanda), seguido por el de la contribución marginal más alta que sigue y así hasta que ya no se dispone de capacidad. Como la capacidad está limitada, elegir la mezcla de productos apropiada es crucial. Troy Hendrix, el supervisor de producción recién contratado, es un seguidor ávido de la filosofía de la teoría de restricciones y del método de cuello de botella para la programación. Piensa que la rentabilidad puede sin duda mejorar si los recursos del cuello de botella se explotan para determinar la mezcla de productos.

   a) ¿Cuál es la ganancia si se usa el método tradicional de la contribución marginal para determinar la mezcla de productos para CKC?

   b) ¿Cuál es la ganancia si se usa el método de cuello de botella favorecido por Troy para seleccionar la mezcla de productos?

   c) Calcule la ganancia, en valor absoluto en dólares y en términos de porcentaje de ganancias, utilizando los principios de TOC para determinar la mezcla de productos.

5. Utilice la regla del elemento de trabajo más largo para balancear la línea de ensamble descrita en la siguiente tabla y la figura 7.10 de manera que produzca 40 unidades por hora.

   a) ¿Cuál es el tiempo de ciclo?

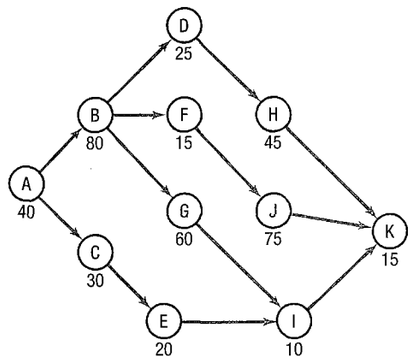
   b) ¿Cuál es el mínimo teórico para el número de estaciones de trabajo?

   c) ¿Qué elementos de trabajo se asignan a la primera estación?

   d) ¿Cuáles son los porcentajes de la eficiencia resultante y el retraso de balanceo?

   e) Utilice la regla del elemento de trabajo más corto para balancear la línea de ensamble. ¿Observa algunos cambios en la solución?

Elemento de trabajo	Tiempo (s)	Predecesores inmediatos
A	40	Ninguno
B	80	A
C	30	A
D	25	B
E	20	C
F	15	B
G	60	B
H	45	D
I	10	E, G
J	75	F
K	15	H, I, J
	Total 415	



▲ **FIGURA 7.10**
Diagrama de precedencia

6. Johnson Cogs desea establecer una línea para servir a 60 clientes por hora. Los elementos de trabajo y sus relaciones de precedencia se muestran en la siguiente tabla.

   a) ¿Cuál es el mínimo teórico para el número de estaciones?

   b) ¿Cuántas estaciones se requieren si se utiliza la regla de decisión del elemento de trabajo más largo?

   c) Suponga que se obtiene una solución que requiere cinco estaciones. ¿Cuál es su eficiencia?

Elemento de trabajo	Tiempo (s)	Predecesores inmediatos
A	40	Ninguno
B	30	A
C	50	A
D	40	B
E	6	B
F	25	C
G	15	C
H	20	D, E
I	18	F, G
J	30	H, I
	Total 274	

7. La *línea de corte* en PW es una pequeña línea de subensamblaje que, junto con otras, alimenta la línea final del chasis. La línea de ensamblaje completa, que consiste en más de 900 estaciones de trabajo, debe hacer los nuevos automóviles E de PW. La línea de corte en sí contiene 13 elementos de trabajo y debe manejar 20 vehículos por hora. Los datos de los elementos de trabajo son los siguientes:

Elemento de trabajo	Tiempo (s)	Predecesores inmediatos
A	1.8	Ninguno
B	0.4	Ninguno
C	1.6	Ninguno
D	1.5	A
E	0.7	A
F	0.5	E
G	0.8	B
H	1.4	C
I	1.4	D
J	1.4	F, G
K	0.5	H
L	1.0	J
M	0.8	I, K, L

   a) Dibuje un diagrama de precedencias.

   b) ¿Qué tiempo de ciclo (en minutos) da como resultado la tasa de salida deseada?

   c) ¿Cuál es el mínimo teórico del número de estaciones?

   d) Utilice la regla de decisión del elemento de trabajo más largo para balancear la línea y calcular la eficiencia de su solución.

   e) Utilice la regla de decisión del elemento de trabajo que tiene más sucesores para balancear la línea y calcular la eficiencia de la solución.

8. Para cumplir con la demanda de las fiestas, Penny's Pie Shop requiere un línea de producción capaz de producir 50 pies de nueces por semana, operando solo 40 horas a la semana. Solo se necesitan cuatro pasos para producir un pie de nuez con los respectivos tiempos de procesamiento de 5, 5, 45 y 15 minutos.

   a) ¿Cuál debe ser el tiempo de ciclo de la línea?

   b) ¿Cuál es el número mínimo de estaciones de trabajo que puede esperar Penny para diseñar la línea considerando este tiempo de ciclo?

   c) Suponga que Penny encuentra una solución que requiere solo cuatro estaciones. ¿Cuál sería la eficiencia de esta línea?

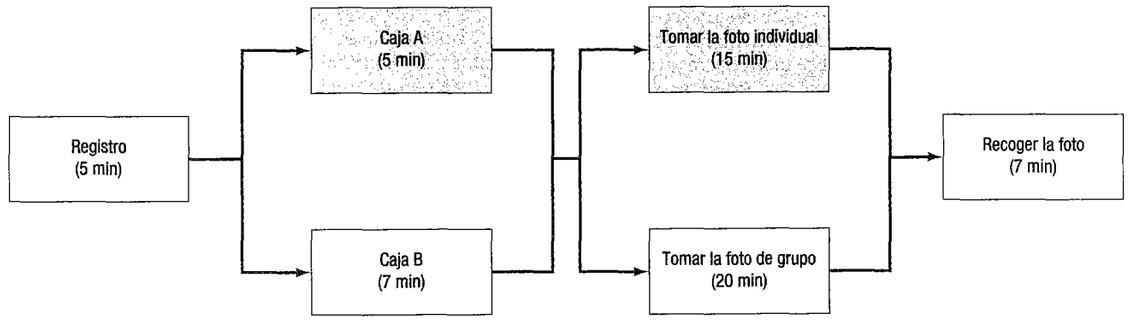
Problemas avanzados

9. El Estudio Fotográfico de Melissa ofrece las opciones de fotos individuales y de grupo. El diagrama de flujo del proceso de la figura 7.11 muestra que los clientes deben primero registrarse y luego pagar en una de dos cajas. Luego, dependiendo de si quieren una foto sencilla o de grupo, van a habitaciones diferentes. Por último, cada uno recoge su propia fotografía terminada.

   a) ¿Cuánto tiempo toma completar todo el proceso para una foto de grupo?

   b) ¿Qué actividad es el cuello de botella para todo el proceso, suponiendo que se reciben cantidades iguales de grupos e individuos?

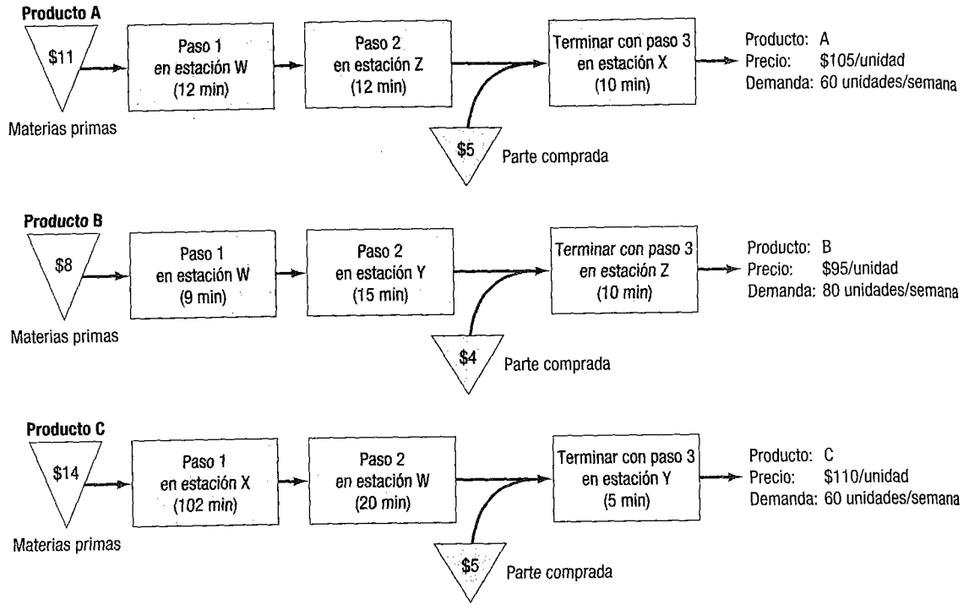
   c) ¿Cuál es la capacidad del cuello de botella para ambos tipos, grupo e individuos?



▲ **FIGURA 7.11**
Estudio fotográfico de Melissa

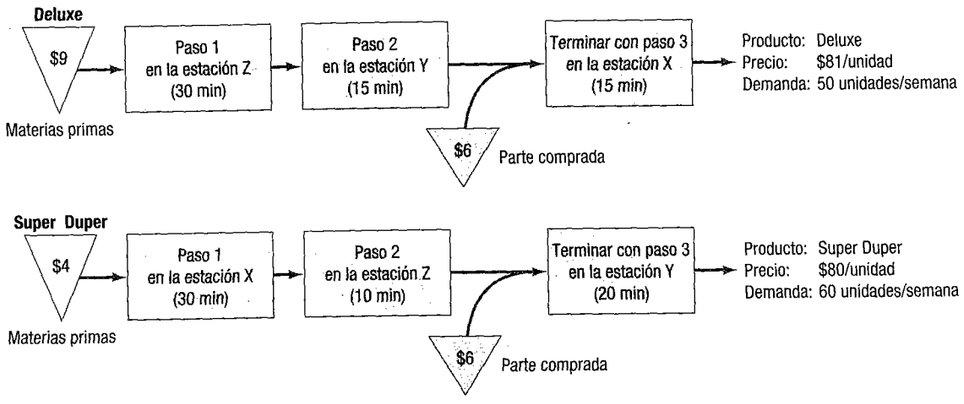
10. Yost-Perry Industries (YPI) fabrica una mezcla de guitarras económicas (A, B, C) que se fabrican y ensamblan en cuatro estaciones de procesamiento (W, X, Y, Z). La operación es un proceso por lotes con tiempos de preparación cortos que pueden ignorarse. La información del producto (precio, demanda semanal y tiempos de proceso) y las secuencias de procesos se muestran en la figura 7.12. Las materias primas y las partes compradas (mostradas como tasa de consumo por unidad) se representan con los triángulos invertidos. YPI puede hacer y vender hasta el límite de la demanda por semana sin penalización por no cumplir la demanda completa. Cada estación de trabajo tiene un trabajador altamente calificado que se dedica a trabajar solo en esa estación y gana $15 por hora. La planta opera un turno de ocho horas al día, cinco días de la semana (es decir, 40 horas de producción por persona por semana). Los costos generales son $9,000/semana. ¿Cuál de las cuatro estaciones, W, X, Y o Z tiene la carga de trabajo agregada más alta, por lo cual resulta ser el cuello de botella para YPI?

▶ **FIGURA 7.12**
Diagrama de flujo para Yost-Perry Industries (YPI)



11. El equipo de alta administración de Yost-Perry Industries (YPI) desea mejorar la rentabilidad de la empresa aceptando el conjunto correcto de órdenes. En la actualidad, las decisiones se toman usando el método tradicional, que es aceptar todo lo posible de los productos de más alta contribución marginal (hasta el límite de su demanda), seguido del producto con la siguiente contribución marginal más alta, etc., hasta que toda la capacidad disponible se utilice. Como la empresa no puede satisfacer toda la demanda, la mezcla de productos debe elegirse con cuidado. Jay Perry, el supervisor de producción recién promovido, tiene conocimientos sobre teoría de restricción y el método de cuello de botella para la programación. Él piensa que mejoraría la rentabilidad si los recursos del cuello de botella se explotan para determinar la mezcla de productos. ¿Cuál es el cambio en las ganancias si, en lugar del método tradicional que ha utilizado YPI hasta ahora, se usa el método de cuello de botella como propone Jay para seleccionar la mezcla de productos?

12. El Emporio de Vida Salvaje de A.J. manufactura dos comederos para pájaros (Deluxe y Super Duper) que se ensamblan en tres estaciones de trabajo (X, Y, Z) usando un proceso de lotes pequeños. Cada uno de los productos se elabora según el diagrama de flujo de la figura 7.13. Además, el diagrama indica el precio, la demanda semanal y los tiempos de fabricación por unidad. Los tiempos de preparación son irrelevantes. A.J. puede hacer y vender



▲ **FIGURA 7.13**
Diagrama de flujo para el Emporio de Vida Salvaje de A.J.

hasta el límite de su demanda semanal y no hay penalizaciones por no poder cumplir la demanda. Cada estación de trabajo tiene un trabajador dedicado solo a esa estación y gana $16 por hora. La planta opera 40 horas por semana, sin tiempo extra. Los costos generales son $2,000 por semana. Con base en la información proporcionada y con la contenida en el diagrama de flujo, responda las siguientes preguntas.

a) Con el método tradicional, que basa las decisiones solo en los gastos generales y la contribución de un producto a la ganancia, ¿cuál es la mezcla óptima de productos y cuál es la rentabilidad global?

b) Con el método de cuello de botella, ¿cuál es la mezcla óptima de productos y cuál es la rentabilidad global?

13. Cooper River Glass Works (CRGW) produce cuatro modelos de lámparas de escritorio como se muestra en la figura 7.14. La gerente de operaciones sabe que la demanda mensual total excede la capacidad disponible para producción. Así, está interesada en determinar la mezcla de productos que maximice las ganancias. El precio, ruta, tiempos de proceso y costo de materiales de cada modelo se proporcionan en la figura 7.14. La demanda del siguiente mes se estima en 200 unidades del modelo Alpha, 250 unidades del modelo Bravo, 150 unidades del modelo Charlie y 225 unidades del modelo Delta. CRGW opera solo un turno de ocho horas por día y está programada para trabajar 20 días del mes próximo (sin tiempo extra). Más aún, cada estación requiere 10% de capacidad de amortiguador.

a) ¿Cuál estación es cuello de botella?

b) Con el método tradicional, que basa sus decisiones en la contribución a la ganancia y a los gastos generales del producto, ¿cuál es la mezcla óptima de productos y la rentabilidad global?

c) Con el método de cuello de botella, ¿cuál es la mezcla óptima de productos y la rentabilidad global?

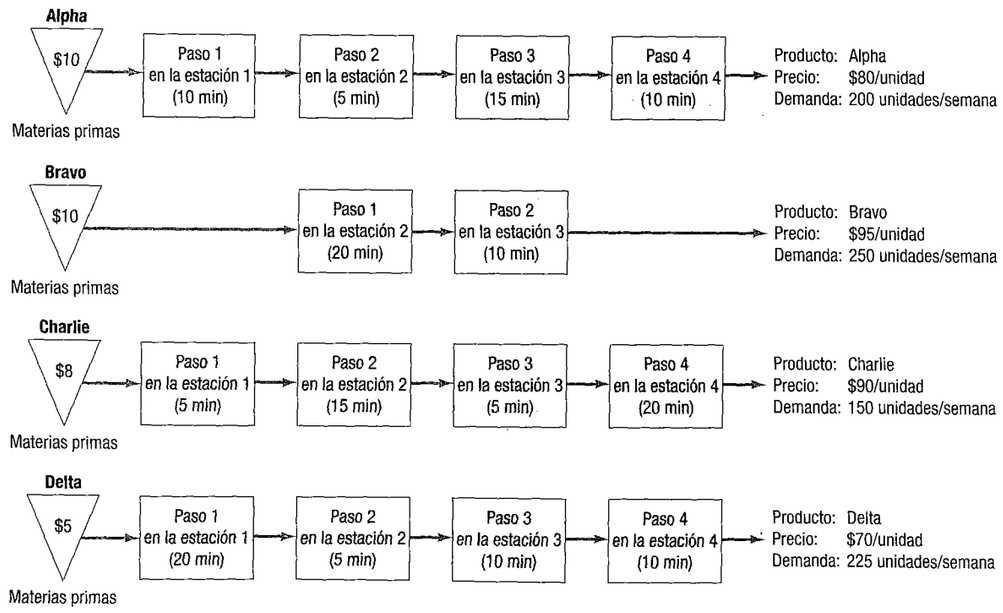
14. La alta administración de Davis Watercraft desea determinar si es posible mejorar la rentabilidad de la empresa cambiando su mezcla de productos existente. Por ahora, la mezcla se determina dando prioridad de recursos a la moto acuática con el margen de contribución más alto. Davis Watercraft siempre tiene un equipo eventual de 10 trabajadores; cada trabajador gana $25 por hora. Los costos generales son $35,000 por semana. La planta opera 18 horas al día, 6 días a la semana. La mano de obra se considera gasto fijo porque se paga a los trabajadores sin importar su utilización. La gerente de producción ha determinado que la estación 1 es el cuello de botella. Enseguida se proporciona con detalle la información de producción.

	Modelo		
	A	B	C
Precio	$450	$400	$500
Costo de materiales	$50	$40	$110
Demanda semanal	100	75	40
Tiempo de proceso estación 1	60 min	0 min	30 min
Tiempo de proceso estación 2	0 min	0 min	60 min
Tiempo de proceso estación 3	10 min	60 min	0 min
Tiempo de proceso estación 4	20 min	30 min	40 min

a) Con el método tradicional, que basa sus decisiones solo en la contribución del producto a las ganancias y los costos generales, ¿cuál es la mezcla de productos que da la ganancia total más alta? ¿Cuál es la ganancia resultante?

b) Con el método basado en el cuello de botella, ¿cuál es la mezcla de productos que da la ganancia total más alta? ¿Cuál es la ganancia resultante?

▶ **FIGURA 7.14**
Diagrama de flujo para Cooper River Glass Works



15. Una línea de ensamblaje con control de movimiento de paso ha sido diseñada para producir calculadoras, como lo muestran los siguientes datos:

Estación	Elemento de trabajo asignado	Elemento de trabajo asignado
S1	A	2.7
S2	D, E	0.6, 0.9
S3	C	3.0
S4	B, F, G	0.7, 0.7, 0.9
S5	H, I, J	0.7, 0.3, 12
S6	K	2.4

a) ¿Cuál es la tasa de salida máxima por hora de esta línea? (*Sugerencia:* la línea puede lograr tanto como su estación más lenta).

b) ¿Qué tiempo de ciclo corresponde a esta tasa de salida máxima?

c) Si hay un trabajador en cada estación y la línea opera a su tasa de salida máxima, ¿cuánto tiempo ocioso se pierde en cada turno de 10 horas?

d) ¿Cuál es la eficiencia de la línea?

16. Jane produce tarjetas de felicitación personalizadas usando seis elementos de trabajo. Ella quiere producir 10 tarjetas en cada sesión de 8 horas. La figura 7.15 detalla cada elemento de trabajo y sus duraciones asociadas en minutos, al igual que sus relaciones de precedencias.

a) ¿Qué tiempo de ciclo se requiere para satisfacer la tasa de salida?

b) ¿Cuál es el número mínimo teórico de estaciones de trabajo requeridas?

c) Si Jane identifica una solución de cinco estaciones, ¿cuál es la eficiencia asociada y el retraso por balanceo?

d) Si el tiempo de ciclo aumenta 100%, ¿incrementaría también 100% el número mínimo teórico de estaciones de trabajo?

17. Greg Davis, un estudiante de administración de negocios en la Universidad de South Carolina (USC), abrió un restaurante a la orilla del campus, el Six Points Saco (SPS), que se especializa en sándwiches submarino y tacos. En apenas un año de operación, el SPS ha crecido en popularidad y Greg está intentando perfeccionar su modelo de negocios antes de convertirlo en franquicia. Desea maximizar la productividad de su personal, al igual que servir a sus clientes bien y a tiempo. Un área de preocupación es la operación en la ventanilla para automóviles durante la hora pico del almuerzo de 11:30 a.m. a 12:30 p.m.

El proceso de satisfacer órdenes implica cumplir las tareas enumeradas en la tabla que está adelante.

Greg está interesado en comprender mejor los patrones de personal que se necesitan para operar su restaurante. Después de tomar el curso de administración de operaciones en la universidad, sabe que satisfacer la orden de un cliente en el SPS es muy similar a operar una línea de ensamble. También ha usado el software de POM para Windows y quiere aplicarlo para examinar los diferentes escenarios para servir a sus clientes.

a) Si las siete tareas las maneja un empleado, ¿a cuántos clientes puede servir por hora?

b) Si Greg quiere procesar 45 clientes por hora, ¿cuántos empleados necesitará durante el periodo pico?

c) Con el número de empleados determinados en el inciso *b*), ¿cuál es el número máximo de clientes que puede servir en una hora? (es decir, cuál es la capacidad de salida máxima)?

d) Suponiendo que ninguna tarea se asigna a más de un empleado, ¿cuál es la "capacidad de salida máxima" de esta línea de ensamble? ¿Cuántos empleados se necesitarán para lograr esta capacidad máxima?

e) Más allá de la salida lograda en el inciso *d*), si Greg decide añadir un trabajador para ayudar en la tarea cuello de botella, ¿dónde debe asignar al trabajador? Con esa adición, ¿será capaz de procesar más clientes por hora? Si es así, ¿cuál es la nueva capacidad de salida máxima para la ventanilla para automóviles?

	Tarea	Tiempo (segundos)	Predecesores inmediatos
A.	Tomar una orden en el mostrador. La mayoría de estas órdenes son por un taco y un sándwich submarino.	25	
B.	Recibir el dinero en la ventanilla.	20	A
C.	Reunir las bebidas.	35	B
D.	Ensamblar la orden de taco.	32	B
E.	Ensamblar la orden del sándwich submarino.	30	B
F.	Poner bebidas, taco y sándwich submarino en una bolsa.	25	C, D, E
G.	Entregar la bolsa al cliente.	10	F

18. Vea el problema 7. Suponga que además de las restricciones de precedencia usuales, existen dos restricciones de zonificación en la línea de corte. Primero, los elementos de trabajo K y L deben asignarse a la misma estación; ambas usan un componente común, y asignarlos a la misma estación ahorra espacio. Segundo, los elementos de trabajo H y J no se pueden realizar en la misma estación.

a) Mediante prueba y error, balancee la línea lo mejor que pueda.

b) ¿Cuál es la eficiencia de su solución?

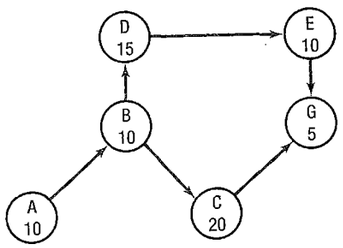


FIGURA 7.12 ▶
Diagrama de precedencias para Custom Greeting Cards

APRENDIZAJE EXPERIENCIAL — Min-Yo Garment Company

Min-Yo Garment Company es una pequeña empresa en Taiwán que produce ropa de deportes para vender en los mercados de mayoreo y menudeo. Las prendas de Min-Yo son únicas porque ofrecen bordados y telas finas con una variedad de diseños de rayas y colores firmes. Con más de 20 años de existencia, Min-Yo Garment Company se ha dado a conocer como un productor de calidad de camisas casuales con entregas confiables. Sin embargo, durante ese mismo periodo, la naturaleza de la industria del vestido ha sufrido cambios. En el pasado, las empresas podían producir camisas estandarizadas en altos volúmenes con unas cuantas combinaciones u opciones de color y tiempos de producción largos. Hoy, con el advenimiento de la mercancía regionalizada y la intensa competencia a nivel menudeo, los compradores de camisas buscan tiempos de entrega más cortos y mucha más variedad en combinaciones y colores. En consecuencia, existen más oportunidades de negocios que nunca para una compañía respetada como Min-Yo.

Aun cuando las oportunidades de éxito en los negocios parecen brillantes, la junta de administración de la semana pasada fue pesimista. Min-Yo Lee, presidente y dueño de Min-Yo Garment, expresó su preocupación por el desempeño de la compañía: "Nos enfrentamos a una competencia fuerte para nuestros productos. Grandes empresas de ropa están bajando sus precios en marcas registradas de alto volumen. Cada día más empresas entran al negocio de camisas personalizadas. Nuestras ganancias son menores a lo esperado y el desempeño de la entrega se está deteriorando. Debemos reexaminar nuestras capacidades y decidir qué podemos hacer mejor".

Productos

Min-Yo dividió su línea de productos en tres categorías: marcas con licencia, marcas subcontratadas y prendas especiales.

Marcas con licencia

Estas marcas son propiedad de la compañía, pero mediante un acuerdo de licencia, se producen en otra empresa que también comercializa la marca en una región geográfica específica. El licenciante puede tener licenciatarios por todo el mundo. Los licenciatarios pagan al licenciante una cuota por el privilegio de comercializar la marca en su región y el licenciante acepta proporcionar cierta publicidad para el producto, por lo común en medios que tienen presencia internacional. Un aspecto clave del acuerdo de licencia es que el licenciatario debe aceptar proporcionar suficiente cantidad de producto a nivel menudeo. Tener faltantes daña la imagen de la marca.

En la actualidad, Min-Yo solo fabrica una marca con licencia. La marca, llamada Muscle Shirt, es propiedad de una gran "corporación virtual" en Italia que no tiene instalaciones de manufactura propias. Min-Yo ha tenido la licencia para fabricar Muscle Shirt y las vende a grandes cadenas de tiendas en Taiwán. Las cadenas de tiendas requieren envíos rápidos al final de cada semana. Debido a las presiones competitivas de otras marcas con licencia, los precios bajos son importantes. Min-Yo vende cada Muscle Shirt a las tiendas por seis dólares.

La demanda de Muscle Shirt tiene un promedio de 900 camisas por semana. La siguiente demanda de las camisas se pronosticó para las siguientes 12 semanas.

Los pronósticos de Min-Yo para Muscle Shirt son bastante precisos dentro del intervalo de ±200 camisas por semana. Si la demanda excede la oferta en cualquier semana, el exceso de demanda se pierde. No se aceptan órdenes pendientes (*backorders*) y Min-Yo no incurre en costos de penalización por las ventas perdidas.

Marcas subcontratadas

Los fabricantes en la industria del vestido con frecuencia se enfrentan a demanda incierta. Para mantener una producción nivelada en sus plantas, muchos fabricantes subcontratan la producción de sus marcas. Min-Yo a menudo se considera un subcontratista debido a su reputación en la industria. Aunque el precio es una consideración, los propietarios de marcas subcontratadas hacen hincapié en una entrega confiable y en la habilidad del subcontratista para ajustar sus cantidades de órdenes con avisos con poca antelación.

Semana	Demanda	Semana	Demanda
1*	700	7	1,100
2	800	8	1,100
3	900	9	900
4	900	10	900
5	1,000	11	800
6	1,100	12	700

*En otras palabras, la compañía espera vender 700 Muscle Shirts para el final de la primera semana.

En la actualidad, Min-Yo fabrica solo una marca subcontratada, llamada Thunder Shirt por sus colores brillantes. Las Thunder Shirts se fabrican por pedido para una compañía en Singapur. El precio de Min-Yo para esta compañía es $7 por camisa. Cuando se colocan las órdenes, usualmente dos veces al mes, el cliente especifica la entrega de ciertas cantidades en cada una de las siguientes dos semanas. La última orden que el cliente coloca está atrasada, esto fuerza a Min-Yo a pagar un cargo de penalización. Para evitar otra penalización, deben enviarse 200 camisas en la semana uno. Se espera que la compañía de Singapur especifique las cantidades que requiere para las semanas dos y tres al final de la semana uno. Se espera que el programa de entregas que contiene las órdenes para las semanas cuatro y cinco llegue al principio de la semana tres, y así sucesivamente. El cliente ha estimado que sus necesidades promedio semanales para el año son 200 camisas por semana, aunque sus estimaciones, con frecuencia, son poco precisas.

Debido a la importancia de este cliente grande para Min-Yo y las largas negociaciones del departamento de ventas para obtener la cuenta, la administración siempre trata de satisfacer sus necesidades. La administración piensa que si Min-Yo Garment se rehúsa aceptar una orden de este cliente, Mi-Yo perderá el negocio de la Thunder Shirt. Con los términos del contrato de ventas, Min-Yo acepta pagar a su cliente $1 por cada camisa que no se envíe a tiempo, por cada envío semanal que falle. Los envíos morosos deben reponerse.

Prendas especiales

Las prendas especiales se hacen solo por pedido debido a su volumen bajo y su naturaleza especializada. Los clientes vienen a Min Yo Garment para fabricar camisas para promociones u ocasiones especiales de la compañía. Las prendas especiales de Min-Yo se conocen como Dragon Shirts por sus elaborados bordados y el aire oriental de sus diseños. Como cada camisa se hace según las especificaciones particulares del cliente y requiere una preparación separada, las prendas especiales no se pueden producir antes de que un cliente coloque la orden.

Aunque el precio no es una preocupación grande para los clientes de las prendas especiales, Min-Yo vende las Dragon Shirts en $8 cada una para evitar que otras compañías entren al mercado de camisas sobre pedido. Sus clientes vienen a Min-Yo porque pueden producir casi cualquier diseño de alta calidad y entregar toda la orden a tiempo. Al colocar una orden para Dragon Shirts, un cliente especifica el diseño de la camisa (o elige en el catálogo de Min-Yo), da especificaciones de logotipos, la cantidad de la orden y la fecha de entrega. En el pasado, la administración verificaba si estas órdenes se ajustaban a la programación y luego la aceptaba o rechazaba según esa base. Si Min-Yo acepta una orden para entregar al *final* de cierta semana y falla en este compromiso, paga una penalización de $2 por camisa por cada

semana de retraso. Se incurre en esta penalización cada semana hasta que la orden atrasada se entregue. La compañía trataba de pronosticar la demanda de los diseños específicos de la Dragon Shirt, pero ya se dio por vencido. La semana pasada tuvo oportunidades de 50, 75, 200 y 60 unidades, pero eligió no aceptar estas órdenes. Las órdenes de Dragon Shirt solían ir de 50 a 300 unidades con tiempos de entrega variables.

La figura 7.16, el archivo de órdenes abiertas de Min-Yo, muestra que en alguna semana anterior Min-Yo aceptó una orden de 400 Thunder Shirts para entrega la semana pasada. El archivo de órdenes abiertas es importante porque contiene los compromisos que la administración tiene con sus clientes. Los compromisos son por cierta cantidad y una fecha de entrega. Cuando las órdenes de los clientes se aceptan, la administración registra la cantidad en la celda sombreada que representa la semana de entrega. Como las Dragon Shirts son únicas por sí mismas, cada una tiene su propio número de orden para uso futuro. No aparecen órdenes de las Dragon Shirts en el archivo de órdenes abiertas porque Min-Yo no se ha comprometido con ningún pedido durante varias semanas.

Manufactura

Proceso

La compañía Min-Yo Garment tiene la última tecnología de procesos en la industria: una máquina para prendas especiales, que funciona con un operario en cada uno de los tres turnos. Este proceso de una máquina puede hacer todas las prendas que produce Min-Yo; sin embargo, los tiempos de preparación consumen una cantidad sustancial de capacidad. La política de la compañía es correr la máquina tres turnos al día, cinco días de la semana. Si los pedidos son insuficientes para mantener la máquina ocupada, los trabajadores están ociosos porque Min-Yo está comprometido con nunca correr a un trabajador. Por lo mismo, la empresa tiene la política de nunca trabajar en fin de semana, Así, la capacidad del proceso es de 5 días × 24 horas = 120 horas por semana. El salario por hora es $10, de manera que la empresa tiene un costo fijo de mano de obra de $10 × $120 = $1,200 por semana. Una vez que la máquina se prepara para cierto tipo de prenda, puede producir a una tasa de 10 prendas por hora sin importar el tipo. El costo del material de cada prenda independiente del tipo es $4. La materia prima nunca es un problema y se suele obtener de la noche a la mañana.

Programación de la máquina para prendas especiales

La programación en Min-Yo se hace una vez por semana, después de completar y enviar la producción de la semana, después de recibir nuevas órdenes de los clientes y antes de iniciar la producción de la siguiente semana. Los resultados de la programación son dos documentos.

El primero es el programa de producción mostrado en la figura 7.17. El programa muestra lo que la administración desea que la máquina de prendas especiales produzca en una semana dada. Se requieren dos registros en la hoja de cálculo para cada producto que se fabricará en una semana. Están en las celdas sombreadas. La primera es la cantidad de producción. En la figura 7.17, el programa muestra que Min-Yo produjo 800 unidades de Muscle y 200 unidades de Thunder la semana pasada. La segunda entrada es un "1" si la máquina se tiene que preparar para un producto dado o un "blanco" si no se requiere preparación. La figura 7.17 muestra que la semana pasada se requirieron preparaciones para las corridas de producción de Muscle y Thunder. La información de las preparaciones es importante porque, al final de la semana, la máquina para prendas especiales estará establecida para el último producto fabricado. Si el mismo producto se produce primero la siguiente semana, no se requiere preparación. La administración debe dar seguimiento a la secuencia

MIN-YO GARMENT COMPANY

Open Order File (Record of commitments)

	Week Order is Due									
Product	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Thunder Orders	400									
Dragon Order 1										
Dragon Order 2										
Dragon Order 3										
Dragon Order 4										
Dragon Order 5										
Dragon Order 6										
Dragon Order 7										
Dragon Order 8										
Dragon Order 9										
Dragon Order 10										
Dragon Order 11										
Dragon Order 12										
Dragon Order 13										
Dragon Order 14										
Dragon Order 15										

Intro | Open Order File | Week 1 | Week 2 | Week 3 | Week 4 | Week 5 | Week 6 | Week 7 | Week 8 | Week 9 | Week 10 | Su

▲ **FIGURA 7.16**
Archivo de órdenes abiertas de Min-Yo
Nota: todas las órdenes deben entregarse al final de la semana indicada, después de terminar la producción de la semana y antes de iniciar la producción de la siguiente semana.

MIN-YO GARMENT COMPANY

PROGRAMA DE PRODUCCIÓN

Las dos entradas de la tabla de programación de la producción son:
1. Cantidad que decide producir este período.
2. Si se requiere o no (1 o 0) una preparación o cambio.

PRODUCT	Changeover	Quantity
Muscle	1	800
Hours		88
Thunder	1	200
Hours		30

	Changeover	Quantity		Changeover	Quantity		Changeover	Quantity
Dragon Order 1			Dragon Order 11			Dragon Order 21		
Dragon Order 2			Dragon Order 12			Dragon Order 22		
Dragon Order 3			Dragon Order 13			Dragon Order 23		
Dragon Order 4			Dragon Order 14			Dragon Order 24		
Dragon Order 5			Dragon Order 15			Dragon Order 25		
Dragon Order 6			Dragon Order 16			Dragon Order 26		
Dragon Order 7			Dragon Order 17			Dragon Order 27		
Dragon Order 8			Dragon Order 18			Dragon Order 28		
Dragon Order 9			Dragon Order 19			Dragon Order 29		
Dragon Order 10			Dragon Order 20			Dragon Order 30		
Total Dragon Hours		0						
Total Dragon Production		0						
Total Hours scheduled		118						

Is production within capacity? Yes

▲ **FIGURA 7.17**
Programa de producción para Min-Yo

de producción cada semana para aprovechar este ahorro. La única excepción a esta regla es la Dragon, que son órdenes únicas que siempre requieren cambio. En la semana 0, Min-Yo no produjo Dragon, pero sí produjo 800 Muscle, seguidas de 200 Thunder. Por último, la hoja calcula las horas requeridas para la programación propuesta. Los tiempos de preparación para las camisas Muscle, Thunder y Dragon son 8, 10 y 25 horas, respectivamente. Como el proceso de la máquina de prendas especiales produce 10 prendas por hora sin importar el tipo, las horas de producción requeridas para la Muscle son 8 + 800/10 = 88 horas, en tanto que las horas de producción para Thunder Shirts son 10 + 200/10 = 30 horas, como se muestra en la figura 7.17. El tiempo total dedicado en la máquina de prendas para todos los productos en una semana excede 120 horas. La hoja de cálculo no permitirá que proceda si se viola esta restricción.

El segundo documento es un estado de pérdidas y ganancias que factoriza las ventas y los costos de producción, incluyendo cargos de penalización y costos de mantener inventario, como se muestra en la figura 7.18. El costo de mantener inventario para *cualquier tipo de producto* es $0.10 por camisa por semana que queda en el inventario después de los envíos de la semana. La hoja de cálculo automáticamente calcula el estado de pérdidas y ganancias, que se relaciona con el archivo de órdenes abiertas y el programa de producción, después de conocer la demanda de las camisas Muscle. La figura 7.18 muestra que la demanda real de Muscle la semana pasada era 750 camisas.

P&L STATEMENT

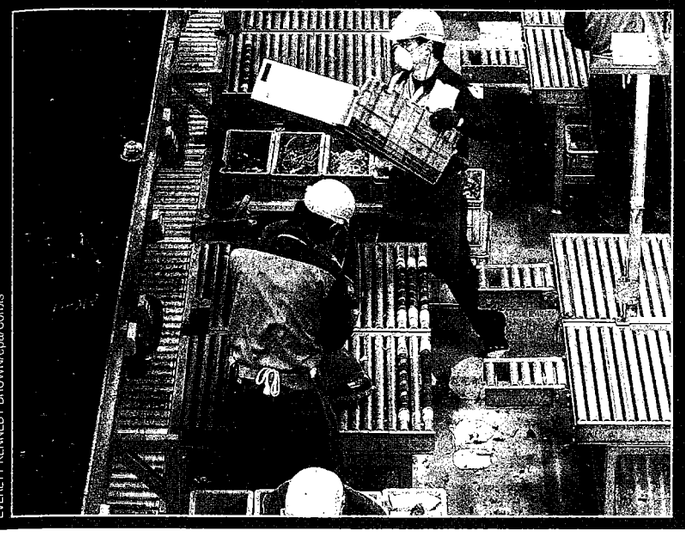
Product	Price	Beg Inv	Production	Available	Demand	Sales	End Inv	Inv/Past due costs
Muscle	$6	550	800	1350	750	4500	600	60
Thunder	$7		200	200	400	1400	-200	200
Dragon Orders	$8		0	0	0	0	0	0
Totals			1000			5900		260

		Current	Cumulative
Sales Total		$5,900	$5,900
Labor	$1,200		
Materials	$4,000		
Inv/Past due	$260		
Total Cost		$5,460	
Profit Contribution		$440	$440

▲ **FIGURA 7.18**
Programa de pérdidas y ganancias para Min-Yo

8

SISTEMAS ESBELTOS



EVERETT KENNEDY BROWN/epa/Corbis

Los empleados de la compañía Panasonic desacoplan una línea de televisores CRT en el Panasonic Eco Technology Center en la ciudad de Kato, prefectura de Hyogo, en Japón. Junto a los esfuerzos para desarrollar productos fáciles de reciclar, la compañía también está desarrollando nuevas tecnologías de reciclaje enfocándose en operaciones esbeltas de manufactura. Para prevenir el desperdicio, un total anual de 30,700 toneladas de aparatos electrodomésticos se reciclan en la sede de Panasonic, incluyendo 29,400 televisores, 135,700 aparatos de aire acondicionado, 173,300 lavadoras de ropa y 149,100 refrigeradores.

Panasonic Corporation

La corporación Panasonic, fundada originalmente como Matsushita Corporation en 1918 para producir lámparas, ha crecido hasta convertirse en una de las empresas fabricantes de electrónicos más grandes del mundo. Con más de 384,000 empleados y 680 compañías consolidadas, es el productor más grande de Japón: fabrica más de 15,000 productos electrónicos con las marcas de Panasonic, National, Quasar y Technics, entre otras. Reconocido por su enfoque global en la eficiencia y las operaciones esbeltas, su búsqueda de la excelencia se ejemplifica mejor en la fábrica de Matsushita Electric Company en Saga, en la sureña isla japonesa de Kyushu, donde se fabrican teléfonos inalámbricos, máquinas de fax y cámaras de seguridad en tiempo récord, en una planta totalmente limpia.

Aun cuando la eficiencia de la planta se ha duplicado en un periodo de cuatro años, los administradores vieron oportunidades para "adelgazar" y mejorar aún más. Las bandas transportadoras de la planta se sustituyeron por un grupo de robots que podían pasar sin problema el trabajo de uno a otro, sustituir con flexibilidad a un robot descompuesto y sincronizar la producción mediante software. Como resultado, el tiempo de producción disminuyó de 2.5 días a 40 minutos, permitiendo a la planta de Saga hacer el doble de teléfonos por semana, lo que a su vez permitió una reducción en el inventario debido a que los componentes como chips y tarjetas de circuitos pasaban menos tiempo en la fábrica. Poder hacer las cosas más rápido significa que la planta puede cambiar con rapidez la mezcla de productos, incluso cuando la demanda de los clientes cambia y se introducen nuevos productos. Esto permitió a Panasonic mantenerse a la cabeza de los rivales de costos bajos en Corea, China y otros países asiáticos.

Panasonic utilizó las lecciones aprendidas de la planta principal de Saga para cambiar los diseños y las configuraciones de otras seis plantas en China, Malasia, México y Gran Bretaña. De manera similar, estas plantas han sido capaces de disminuir inventarios y mejorar la productividad, además de que las ideas del personal local de cada planta fueron incorporadas al esfuerzo de cambio. La siguiente serie de mejoras se centró en separar las líneas de ensamblaje en células y en el mejor uso de los robots ociosos. Además, los diseños estandarizados de tarjetas de circuitos, comunes a una gran variedad de productos finales, se usan para minimizar la reorganización de los robots para cada tipo de tarjeta. Con el implacable enfoque de minimizar el desperdicio y mejorar en forma continua la eficiencia, Panasonic ha establecido un récord de crecimiento de las ganancias y se ha convertido en modelo para otras empresas de electrónicos.

Fuente: Kenji Hall, "No One Does Lean like the Japanese", *Business Week* (10 de julio, 2006), pp. 40-41; http://panasonic.net/corporate/, 25 de abril, 2011.

METAS DE APRENDIZAJE *Después de estudiar este capítulo, usted será capaz de:*

1. Describir la manera en que los sistemas esbeltos pueden facilitar la mejora continua de los procesos.
2. Identificar las características y ventajas estratégicas de los sistemas esbeltos.
3. Entender el mapeo de flujo de valor (*value stream mapping*) y su papel en la reducción de desperdicio.
4. Entender los sistemas *kanban* para crear un programa de producción en un sistema esbelto.
5. Explicar los aspectos de la implantación asociados con la aplicación de sistemas esbeltos.

Creación de valor mediante la administración de operaciones

↓

Utilización de las operaciones para competir

Administración de proyectos

Administración de procesos

↓

Estrategia de procesos

Análisis de procesos

Calidad y desempeño

Planeación de la capacidad

Administración de restricciones

Sistemas esbeltos

Administración de la cadena de suministro

↓

Administración del inventario de la cadena de suministro

Diseño de la cadena de suministro

Decisiones de localización de la cadena de suministro

Integración de la cadena de suministro

Sustentabilidad de la cadena de suministro y logística humanitaria

Pronósticos

Planeación y programación de las operaciones

Planeación de recursos

Panasonic Corporation es una organización que aprende y que es un ejemplo excelente de un enfoque para diseñar cadenas de suministro conocidas como **sistemas esbeltos**, las cuales permiten mejorar sus operaciones de manera continua y diseminar las lecciones aprendidas por toda la corporación. Los sistemas esbeltos son sistemas de operación que maximizan el valor agregado por cada una de las actividades de la compañía eliminando el desperdicio y los retrasos en ellas. Engloban la estrategia de operaciones de la compañía, el diseño de procesos, la administración de la calidad, la administración de restricciones, el diseño de la distribución, el diseño de la cadena de suministro y la administración de inventarios y tecnología; además, se pueden usar tanto en empresas de servicios como de manufactura. Como una empresa de manufactura, una compañía de servicios toma una orden de un cliente, entrega el servicio y recibe las ganancias. Cada empresa de servicios compra servicios o artículos, los recibe y paga por ellos, y a su vez, contrata y paga a sus empleados. Cada una de estas actividades guarda una gran similitud con las mismas actividades de las empresas de manufactura. También suelen contener cantidades grandes de desperdicio. En las dos primeras partes del libro hemos discutido muchas maneras de mejorar los procesos, sin importar si son o no de manufactura. Estos mismos principios se pueden aplicar para lograr procesos de servicio esbelto, ya sean para procesos front-office, híbridos o back-office. Concluimos la segunda parte del libro mostrando cómo técnicas para la mejora de procesos pueden usarse para hacer a una empresa esbelta.

Comenzamos con un análisis del aspecto de mejora continua de los sistemas esbeltos, seguido del estudio de las características de los sistemas esbeltos y el diseño de las distribuciones necesarias para lograr estas características. Además, abordamos diferentes tipos de sistemas esbeltos utilizados en la práctica y algunos aspectos de la implementación que enfrentan las compañías.

Sistemas esbeltos en toda la organización

Los sistemas esbeltos afectan los vínculos internos de una empresa entre sus procesos centrales y los de apoyo, así como sus vínculos externos con clientes y proveedores. El diseño de cadenas de suministro usando el enfoque de sistemas esbeltos es importante para varios departamentos y áreas funcionales de toda la organización. Marketing se apoya en los sistemas esbeltos para entregar servicios o productos de alta calidad, a tiempo y a precios razonables. Recursos humanos debe colocar correctamente sistemas de incentivos que premien el trabajo en equipo, y también reclutar, capacitar y evaluar a los empleados necesarios para crear una fuerza de trabajo flexible que pueda operar con éxito un sistema esbelto. Ingeniería debe diseñar productos que utilicen más partes comunes que requieran menos preparación y que puedan usarse en fábricas especializadas. Operaciones es responsable de mantener una relación cercana con los proveedores, diseñar el sistema esbelto y utilizarlo en la producción de servicios o bienes. Contabilidad debe ajustar sus prácticas de facturación y costo para proporcionar el apoyo necesario en el manejo de sistemas esbeltos. Finalmente, la alta administración debe adoptar la filosofía esbelta y hacerla parte de la cultura y aprendizaje organizacional, como lo hizo Panasonic según se mostró en la viñeta de apertura del capítulo.

sistemas esbeltos
Sistemas de operaciones que maximizan el valor agregado de cada una de las actividades de la compañía eliminando el desperdicio y los retrasos en ellas.

filosofía justo-a-tiempo (JIT)
Considera que el desperdicio se puede eliminar quitando capacidad o inventarios innecesarios y eliminando actividades que no agreguen valor en las operaciones.

Mejora continua usando un enfoque de sistema esbelto

Uno de los sistemas más populares que incorporan los elementos genéricos de los sistemas esbeltos es el **sistema justo a tiempo (JIT)**. De acuerdo con Taiichi Ohno, uno de los pioneros en la corporación Toyota, la filosofía justo a tiempo (JIT) es sencilla pero poderosa: *elimina el desperdicio* o lo *muda* al reducir el exceso de capacidad o de inventario eliminando las actividades que no agregan valor. La tabla 8.1 muestra los ocho tipos de desperdicio que con frecuencia existen de manera interrelacionada, y que deben eliminarse al implementar sistemas esbeltos.

Las metas de un sistema esbelto son en consecuencia eliminar estos ocho tipos de desperdicio, producir servicios y productos solo cuando se necesitan y mejorar de manera continua los beneficios del valor agregado de las operaciones. Un **sistema JIT** organiza los recursos, los flujos de información y las reglas de decisión que permiten a una empresa obtener los beneficios de los principios JIT.

TABLA 8.1 | OCHO TIPOS DE DESPERDICIO O MUDA[1]

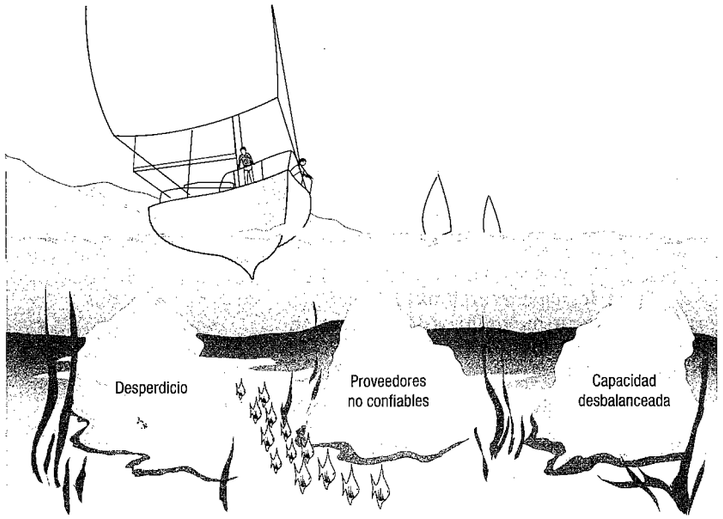
Desperdicio	Definición
1. Sobreproducción	Fabricar un artículo antes de que se necesite, haciendo difícil detectar los defectos y crear tiempos de entrega y de inventario excesivos.
2. Procesamiento inapropiado	Utilizar equipo de alta precisión cuando máquinas más sencillas son suficientes. Esto lleva a la sobreutilización de bienes de capital costosos. La inversión en equipo flexible más pequeño, mantener máquinas más antiguas en estado inmaculado y combinar etapas de procesos donde sea adecuado, reduce el desperdicio asociado con el procesamiento inapropiado.
3. Espera	Se incurre en tiempo desperdiciado cuando el producto no se mueve o se procesa. Corridas de producción largas, flujos de materiales débiles y procesos que no están fuertemente ligados uno con otro, pueden ocasionar que más de 90% del tiempo de entrega de un producto se pase en esperas.
4. Transporte	El excesivo movimiento y manejo de material de un producto entre procesos puede ocasionar daño y deterioro de la calidad del producto, sin agregar un valor significativo para el cliente.
5. Movimiento	El esfuerzo innecesario relacionado con la ergonomía de agacharse, estirarse, alcanzar, levantarse y caminar. Los trabajos con movimientos excesivos deben rediseñarse.
6. Inventario	El inventario excesivo oculta los problemas en el piso de venta, consume espacio, aumenta los tiempos de entrega e inhibe la comunicación. El inventario de productos en procesos de producción es resultado directo de la sobreproducción y la espera.
7. Defectos	Los defectos de calidad dan como resultado más trabajo y desperdicio, agregan despilfarro de costos al sistema en la forma de capacidad perdida, esfuerzos de reprogramación, incremento en la inspección y pérdida de imagen ante el cliente.
8. Subutilización de empleados	La falla de la empresa en aprender de sus empleados y capitalizar su conocimiento y creatividad, obstruye los esfuerzos a largo plazo para eliminar el desperdicio.

Al destacar las áreas que se necesitan mejorar, los sistemas esbeltos llevan a la mejora continua en calidad y productividad. El término japonés para este enfoque de mejoramiento de procesos es *kaizen*. La clave del *kaizen* es el entendimiento de que la capacidad o el inventario excesivos ocultan problemas subyacentes en los procesos que producen un servicio o producto. Los sistemas esbeltos proporcionan el mecanismo administrativo para revelar los problemas al disminuir de manera sistemática las capacidades o los inventarios hasta que los problemas quedan expuestos. Por ejemplo, la figura 8.1 caracteriza la filosofía detrás de la mejora continua con sistemas esbeltos. En los servicios, la superficie del agua representa la capacidad del sistema de servicio, como los niveles de personal. En la manufactura, la superficie del agua representa los niveles de inventarios de productos y componentes. Las rocas representan los problemas encontrados en la satisfacción de servicios o productos. Cuando la superficie del agua es lo suficientemente alta, el barco pasa sobre las rocas porque el nivel alto de capacidad o de inventarios encubre los problemas. Conforme la capacidad o los inventarios disminuyen, las rocas quedan expuestas. Finalmente, el barco golpeará una roca si la superficie del agua baja lo suficiente. Mediante los sistemas esbeltos, trabajadores, supervisores, ingenieros y analistas aplican métodos de mejora continua para demoler la roca expuesta. La coordinación requerida para lograr los flujos de materiales suaves en sistemas esbeltos identifica los problemas a tiempo para tomar acciones correctivas.

Mantener inventarios bajos presiona periódicamente al sistema para identificar problemas y se centra en los elementos del sistema esbelto, lo cual conduce al corazón de la mejora continua. Por ejemplo, una planta de Kawasaki en Lincoln, Nebraska, baja periódicamente sus inventarios de seguridad casi a cero. Los problemas en la planta quedan expuestos, se registran y después se asignan

sistema JIT
Sistema que organiza los recursos, los flujos de información y las reglas de decisión que permiten a la empresa obtener los beneficios de los principios JIT.

[1]David McBride, "The Seven Manufacturing Wastes", 29 de agosto, 2003, **http://www.emsstrategies.com**, con permiso de EMS Consulting Group, Inc. © 2003.



▲ **FIGURA 8.1**
Mejora continua con los sistemas esbeltos

a los empleados como proyectos de mejora. Después de hacer las mejoras, los inventarios se recortan de manera permanente al nuevo nivel.

Muchas empresas utilizan el proceso de prueba y error para desarrollar operaciones de manufactura más eficientes. Además, los trabajadores que usan prensas especiales, con frecuencia fabrican partes en la línea de ensamblaje justo en cantidades necesarias. Los procesos de servicio, como programación, facturación, toma de órdenes, contabilidad y planeación financiera, también pueden ser mejorados con sistemas esbeltos. En las operaciones de servicio, un enfoque común que utilizan los administradores es colocar presión en el sistema para reducir el número de empleados que realizan una actividad específica o una serie de actividades hasta que el proceso comienza a alentarse o detenerse. Los problemas se pueden identificar y se exploran maneras de resolverlos. También se pueden usar otras tácticas *kaizen*. Eliminar el problema del desperdicio excesivo puede requerir la mejora del proceso de trabajo de la empresa, proporcionando a los empleados capacitación adicional, o encontrar proveedores de más alta calidad. Eliminar los desequilibrios en la capacidad tal vez implique revisar el programa maestro de producción de la empresa y mejorar la flexibilidad de su fuerza de trabajo. Independientemente de cuál se resuelva, siempre habrá nuevos problemas que abordar para mejorar el desempeño del sistema.

Frecuentemente, la mejora continua ocurre con la participación continua y la consideración de nuevas ideas de los empleados, quienes tienen un papel importante en la implantación de la filosofía JIT. Tan solo en 2007 se recibieron cerca de 740,000 sugerencias de mejoras para toda la compañía en Toyota. Una gran cantidad de ellas fueron implementadas, y los empleados que las propusieron recibieron recompensas que iban de 500 yenes (aproximadamente 5 dólares) a 50,000 yenes (aproximadamente 500 dólares), dependiendo de su impacto final.

Consideraciones de la cadena de suministro en sistemas esbeltos

En esta sección discutiremos las dos características sobresalientes de los sistemas esbeltos relacionados con crear y administrar los flujos de material en una cadena de suministro: relaciones estrechas con los proveedores y lotes de tamaño pequeño.

Relaciones estrechas con los proveedores

Debido a que los sistemas esbeltos operan con niveles bajos de capacidad estacionaria o de inventario, las empresas que los usan deben tener una relación estrecha con sus proveedores. Los abastecimientos deben enviarse con frecuencia, tener tiempos de entrega más cortos, llegar a tiempo y tener alta calidad. Un contrato puede incluso requerir que un proveedor entregue bienes a una instalación con una frecuencia de varias veces al día.

La filosofía de sistemas esbeltos es buscar maneras de mejorar la eficiencia y reducir los inventarios a lo largo de toda la cadena. La cooperación cercana entre las compañías y sus proveedores puede ser una situación en la que todos ganan. Por ejemplo, la mejor comunicación acerca de los requerimientos de las componentes permite mayor eficiencia en la planeación de inventarios y el programa de entregas de los proveedores, mejorando de este modo los márgenes de ganancias de estos. Los clientes pueden negociar precios de componentes más bajos. No pueden establecerse y mantenerse relaciones estrechas con el proveedor si las compañías ven a sus proveedores como adversarios cuando se negocian los contratos. Más bien, deben considerar a los proveedores como socios en un proyecto en el que ambas partes tienen interés en mantener una relación rentable a largo plazo. En consecuencia, una de las primeras acciones que se toman al implementar sistemas esbeltos es disminuir el número de proveedores y asegurar que están geográficamente cerca para promover sociedades fuertes y sincronizar mejor los flujos de productos.

Una forma particular de sociedad cercana con el proveedor mediante sistemas esbeltos es el sistema JIT II, que fue concebido e implementado por Bose Corporation, un productor de equipos de sonido y bocinas profesionales de la más alta calidad. En un sistema JIT II, el proveedor es traído a la planta para ser un miembro activo de la oficina de compras del cliente. El *representante de planta* está tiempo completo con cargo al proveedor y tiene autoridad para planear y programar el reabastecimiento de los materiales del proveedor. Así, JIT II fomenta una interacción muy cercana con los proveedores. Las calificaciones de un proveedor que ha de incluirse en el programa son estrictas.

En general, JIT II puede ofrecer beneficios tanto para compradores como para proveedores, porque proporciona la estructura organizacional necesaria para mejorar la coordinación con el proveedor al integrar los procesos de logística, producción y compras. Analizaremos más la relación con el proveedor en el capítulo 12, "Integración de la cadena de suministro".

Lotes pequeños

Los sistemas esbeltos usan tamaños de lotes tan pequeños como sea posible. Un **lote** es una cantidad de artículos que se procesan juntos. Los lotes pequeños tienen la ventaja de reducir el nivel promedio de inventario respecto a los lotes grandes. Cuando estos son pequeños pasan por el sistema más rápido que los grandes, puesto que no tienen materiales esperando. Además, si se descubren artículos defectuosos, los lotes grandes ocasionan retrasos mayores porque el lote entero debe examinarse para encontrar todos los artículos que requieren retrabajo. Por último, los lotes pequeños ayudan a lograr una carga de trabajo uniforme en el sistema y previenen la sobreproducción. Los grandes consumen más capacidad en las estaciones de trabajo y, por lo tanto, complican la programación. Los lotes pequeños pueden manejarse con más efectividad, permitiendo a los programadores utilizar con eficiencia las capacidades.

lote
Cantidad de artículos que se procesan juntos.

Aunque los lotes pequeños benefician las operaciones, tienen la desventaja de una mayor frecuencia de preparaciones. Una *preparación* es el grupo de actividades necesarias para cambiar o reajustar un proceso entre lotes sucesivos de artículos, algunas veces llamados *cambio*. Este cambio en sí es un proceso que se puede hacer más eficiente. Las preparaciones implican corridas de prueba y el desperdicio de materiales puede ser sustancial mientras las máquinas se ajustan para las nuevas partes. En general, una preparación toma el mismo tiempo, independientemente del tamaño del lote. Por esto, el resultado de muchos lotes pequeños en lugar de varios grandes puede ser desperdicio en la forma de empleados, equipo y materiales ociosos. Los tiempos de preparación deben ser breves para obtener los beneficios de la producción en lotes pequeños.

Lograr tiempos de preparación breves muchas veces requiere una cooperación cercana entre ingeniería, administración y mano de obra. Por ejemplo, cambiar dados en las grandes prensas para formar partes de automóviles de una hoja de metal puede tomar 3 o 4 horas. En la planta de Honda de Marysville, Ohio —donde cuatro líneas estampan y suajan todo el exterior y las partes principales de los paneles interiores para la producción del Accord—, los equipos trabajaron en encontrar maneras de reducir los tiempos de cambios de los grandes dados. Como resultado, un cambio completo de dados para una prensa de 2,400 toneladas ahora toma 8 minutos. La meta de una **preparación de un dígito** significa lograr tiempos de preparación de menos de 10 minutos. Algunas técnicas usadas para reducir los tiempos de cambio en la planta de Marysville incluyen usar transportadores para almacenar los dados, mover los grandes dados con grúa, simplificar los dados, incluir controles para las máquinas, usar computadoras para posicionar el trabajo y preparar para los cambios mientras el trabajo en producción todavía se está procesando.

preparación de un dígito
Meta de lograr un tiempo de preparación de menos de 10 minutos.

Consideraciones de procesos en los sistemas esbeltos

En esta sección estudiamos las siguientes características de los sistemas esbeltos: método de jalar el flujo del trabajo, calidad en la fuente, cargas de trabajo uniformes en las estaciones, componentes estandarizadas y métodos de trabajo, fuerza de trabajo flexible, automatización, prácticas cinco S (5S) y mantenimiento preventivo total.

Método de jalar el flujo de trabajo

Los administradores tienen opciones en cuanto a la naturaleza de los flujos de materiales en un proceso o cadena de suministro. La mayoría de las empresas que usan operaciones esbeltas utilizan el **método de jalar**, en el que la demanda del cliente activa la producción de un bien o servicio. Por el contrarió, un método que se usa con frecuencia en sistemas convencionales que no enfatizan los sistemas esbeltos es el **método de empujar**, que implica usar los pronósticos de demanda y producir el artículo antes de que el cliente lo ordene. Para diferenciar entre estos dos métodos usaremos un ejemplo de servicio que involucra un pasatiempo favorito: comer.

método de jalar (*pull*)
Método en el cual la demanda del cliente activa la producción del servicio o artículo.

método de empujar (*push*)
Método en el que la producción de un artículo comienza antes de conocer las necesidades de los clientes.

Con el fin de ilustrar el método de jalar, considere un restaurante cinco estrellas en el que usted está sentado en una mesa y le ofrecen un menú de platillos exquisitos, aperitivos, sopas, ensaladas y postres. Puede elegir entre el filete mignon, un solomillo, atún, filete de mero y costillas de cordero. Su selección de ensalada la preparan en su mesa. Aunque algunos aperitivos, sopas y postres se pueden preparar antes y calentar a la temperatura adecuada justo antes de servirlos, no se puede hacer lo mismo con el plato principal y las ensaladas. Su orden de ensalada y plato principal envía una señal al chef para comenzar a preparar su orden específica. Para estos artículos, el restaurante utiliza el *método de jalar*. Las empresas que utilizan el método de jalar deben poder satisfacer las demandas del cliente dentro de un tiempo aceptable.

Para comprender el método de jalar, considere una cafetería en una esquina transitada en el centro de la ciudad. Durante los periodos pico alrededor de las 12:00 p.m. y de las 5:00 p.m. se forman filas con clientes hambrientos, listos para comer y luego seguir con sus actividades. La cafetería ofrece opciones de pollo (rostizado o frito), lomo de res rostizado, costillas de puerco, hamburguesas,

Owen Franken/CORBIS

Los comensales llenan sus platos en un restaurante de bufet. Como la comida debe prepararse con antelación, el restaurante utiliza el método de empujar para el flujo del trabajo.

hot-dogs, ensalada, sopa (de pollo, chícharos y crema de almejas), pan (tres tipos) bebidas y postres (tartaletas, helado y galletas). Se requiere una coordinación estricta entre el "front office" de la cafetería, donde los empleados interactúan con los clientes y su "back office", la cocina, donde se prepara la comida y luego se coloca en la línea de bufet de la cafetería.

Como toma un tiempo sustancial cocinar algunos alimentos, la cafetería utiliza el *método de empujar*. Esta cafetería tendría mucha dificultad para usar el método de jalar porque no puede esperar hasta que un cliente pida un plato para solicitar a la cocina que comience a procesarlo. Después de todo, los faltantes de comida podrían ocasionar condiciones de amotinamiento (recuerde que los clientes están hambrientos), mientras que preparar una cantidad excesiva de comida sería un desperdicio porque no se la comerían. Para asegurar que no ocurra ninguna de estas dos situaciones, la cafetería debe pronosticar con precisión el número de clientes que espera servir.

La elección entre los métodos de empujar o jalar suele depender de la situación. Las empresas que usan una estrategia de ensamblaje por pedido, algunas veces utilizan dos métodos: el método de empujar para producir los componentes estandarizados y el método de jalar para satisfacer las órdenes de los clientes para una combinación dada de componentes.

Calidad en la fuente

Cumplir las expectativas de los clientes de modo uniforme es una característica importante de los sistemas esbeltos. Una manera de lograr esta meta es apegarse a la práctica llamada *calidad en la fuente*, una filosofía mediante la cual los defectos se detectan y corrigen donde se crearon. La meta para los trabajadores es actuar como sus propios inspectores de calidad y nunca dejar pasar unidades defectuosas al siguiente proceso. Al detener el proceso automáticamente cuando algo está mal y arreglar los problemas en la línea misma cuando ocurren, también se conoce como ***jidoka***. *Jidoka* tiende a separar las actividades de la máquina y el trabajador, liberando a los trabajadores de atender las máquinas todo el tiempo, lo que les permite realizar múltiples operaciones simultáneas. *Jidoka* representa un sistema de administración visual mediante el cual el estatus del sistema en términos de seguridad, calidad, entrega y desempeño del costo respecto a las metas de una célula de producción o estación de trabajo en una línea de ensamblaje está claramente visible para los trabajadores en la planta en todo momento.

jidoka

Detener de manera automática el proceso cuando algo está mal y luego arreglar los problemas en la línea misma en cuanto ocurren.

Una alternativa para *jidoka* o calidad en la fuente es la práctica tradicional de empujar los problemas por la línea para que se resuelvan más adelante. Este enfoque suele ser poco efectivo. Por ejemplo, una operación de soldadura en el departamento de antenas de Texas Instruments tenía una tasa de defectos que variaba de 0 a 50% todos los días, con un promedio cercano a 20%. Para compensar, quienes planeaban la producción aumentaron el tamaño del lote, lo cual solo incrementó los niveles de inventarios y no hizo nada para reducir el número de artículos defectuosos. Los ingenieros de la compañía descubrieron después, mediante experimentación, que la temperatura del gas era una variable crucial en la producción de artículos sin defectos. Después diseñaron gráficas de control estadístico para uso de los operarios del equipo para monitorear la temperatura y ajustarla ellos mismos. El rendimiento del proceso mejoró de inmediato y se estabilizó en 95%; con el tiempo, Texas Instruments pudo implementar un sistema esbelto.

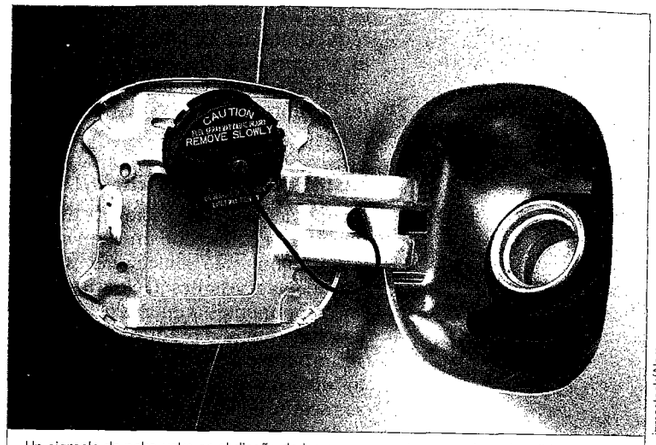
poka-yoke

Métodos de corrección de errores dirigidos a diseñar sistemas a prueba de fallas que minimicen el error humano.

Un enfoque exitoso para desarrollar la calidad en la fuente es usar ***poka-yoke*** o métodos a prueba de errores, dirigidos a diseñar sistemas a prueba de fallas, que atacan y minimizan el error humano. Los sistemas *poka-yoke* funcionan bien en la práctica. Considere, por ejemplo, una compañía que hace productos modulares. La compañía podría usar el método poka-yoke haciendo diferentes partes del producto modular, de modo que les permita ensamblarse solo de una manera: la correcta. De forma similar, el embalaje de la compañía podría diseñarse de forma que solo se pudiera empacar de cierta forma para minimizar el fallo y eliminar las oportunidades de error. En las plantas de Toyota, cada vehículo que se ensambla va acompañado de un chip RIFD que contiene información de cómo deben apretarse los tornillos y las tuercas en ese vehículo para una operación en una estación de trabajo dada. Una luz verde se enciende cuando se aprieta el número correcto de tuercas. Solo entonces se mueve el vehículo en la línea de ensamble.

Otra herramienta para implementar la calidad en la fuente es *andon*, un sistema que da a las máquinas y los operarios la habilidad de enviar una señal cuando ocurren condiciones anormales, como un mal funcionamiento de la herramienta, faltantes de partes o cuando el producto está fuera de las especificaciones deseadas. Puede tomar la forma de alarmas de sonido, luces intermitentes, textos desplegados en LCD o cuerdas que pueden jalar los trabajadores para pedir ayuda o detener la

línea de producción, si es necesario. Sin embargo, detener la línea de producción puede costar a la compañía miles de dólares cada minuto que está parada. No es necesario decir que la administración debe darse cuenta de la enorme responsabilidad que este método asigna a los empleados y de que debe prepararlos apropiadamente.



Izmostock/Alamy

Un ejemplo de poka-yoke es el diseño de las nuevas puertas para el combustible en los automóviles. Son a prueba de error, ya que la boca de llenado del tanque evita que se inserte una boquilla más grande de combustible con plomo. Además, la sujeción del tapón no permite que el conductor maneje sin él, y también está equipado con una rueda dentada que indica el apretado correcto para prevenir que se apriete de más o se trasrosque.

Cargas uniformes en las estaciones de trabajo

Un sistema esbelto funciona mejor si la carga diaria de las estaciones de trabajo individuales son relativamente uniformes. Los procesos de servicio pueden lograr estaciones con cargas uniformes si tienen sistemas de reservaciones. Por ejemplo, los hospitales programan cirugías antes de dar el servicio para que las instalaciones y el equipo estén listos cuando llegue el momento. La carga de los quirófanos y los cirujanos puede nivelarse para hacer el mejor uso de estos recursos. Otro enfoque es fijar precios diferentes en los servicios para manejar su demanda. Las cargas uniformes son el razonamiento detrás de las promociones de las líneas aéreas de viajes de fin de semana o vuelos por las noches que comienzan tarde en la noche y terminan temprano en la mañana. Las eficiencias pueden realizarse cuando la carga de los recursos de la empresa se pueda manejar.

Para los procesos de manufactura, las cargas uniformes se logran ensamblando el mismo tipo y número de unidades cada día, creando con ello una demanda uniforme en todas las estaciones. La planeación de la capacidad, que reconoce las restricciones de capacidad en las estaciones cruciales, y el balanceo de líneas, se utilizan para desarrollar el programa maestro de producción. Por ejemplo, en Toyota el plan de producción puede pedir 4,500 vehículos por semana para el próximo mes. Esto requiere dos turnos completos, cinco días de la semana, produciendo 900 vehículos por día o 450 por turno. Se producen tres modelos: Camry (C), Avalon (A) y Solara (S). Suponga que Toyota necesita 200 Camrys, 150 Avalons y 100 Solaras por turno para satisfacer la demanda del mercado. Para producir 450 unidades en un turno de 480 minutos, la línea debe sacar un vehículo cada 480/450 = 1.067 minutos. Los 1.067 minutos o 64 segundos representan el **tiempo takt** del proceso, definido como el tiempo de ciclo necesario para igualar la tasa de producción con la tasa de ventas o consumo.

tiempo takt

Tiempo de ciclo necesario para igualar la tasa de producción con la tasa de ventas o consumo.

Con la producción de grandes lotes, todos los requerimientos diarios de un modelo se producen en un lote antes de iniciar otro modelo. La secuencia de 200 C, 150 A y 100 S se repetiría una vez por turno. Estos grandes lotes no solo aumentarían el nivel de inventario, sino también ocasionarían requerimientos irregulares en todas las estaciones de trabajo que alimentan la línea de ensamble.

Existen otras opciones para diseñar un programa de producción para los vehículos. Estas opciones se basan en el concepto japonés de ***heijunka***, que es el nivelado de la carga de producción por volumen y por mezcla de productos. No construye productos según el flujo real de las órdenes de los clientes, sino que nivela el volumen total de órdenes en un periodo de manera que cada día se fabrica la misma cantidad y mezcla.[2]

heijunka

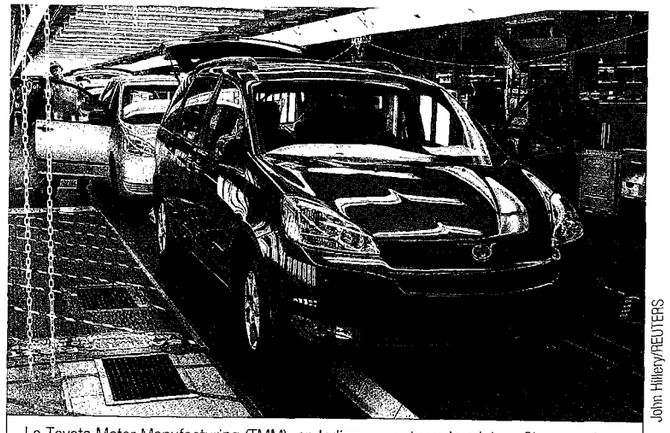
Nivelado de la carga de producción, tanto por volumen como por mezcla de productos.

ensamble de modelo mixto

Tipo de ensamble que produce una mezcla de modelos en lotes más pequeños.

Exploremos dos *heijunka* posibles. La primera opción utiliza **ensamble de modelo mixto** nivelado, que produce una mezcla de los modelos de lotes pequeños. Observe que los requerimientos de producción en Toyota están en la razón de 4 C a 3 A a 2 S, que encontraremos dividiendo los requerimientos de producción entre el máximo común divisor, o 50. Así, el planeador de Toyota puede desarrollar un ciclo de producción de nueve unidades: 4 C, 3 A y 2 S. El ciclo se repite en 9(1.067) = 9 .60 minutos, un total de 50 veces por turno (480 min/9.60 min = 50).

La segunda opción *heijunka* utiliza un tamaño de lote de uno, como la secuencia de producción C-S-C-A-C-A-C-S-A repetida 50 veces por turno. La secuencia lograría la misma producción total que la otra opción; sin embargo,



John Hillery/REUTERS

La Toyota Motor Manufacturing (TMM), en Indiana, construye la minivan Sienna y el Sequoia, vehículo utilitario deportivo, en una nueva línea de ensamblaje de modelo mixto en la ampliación de la planta.

[2] David McBride, "Heijunka, Leveling the Load," 1 de septiembre, 2004, **http://www.emsstrategies.com**

es factible solo si los tiempos de preparación son breves. La secuencia genera una tasa estable de requerimientos de componentes para diferentes modelos y permite usar lotes pequeños en las estaciones de trabajo que alimentan. En consecuencia, los requerimientos de capacidad en esas estaciones se suavizan mucho. Estos requerimientos se pueden comparar con las capacidades reales durante la etapa de planeación y se pueden hacer modificaciones al ciclo de producción, los requerimientos de producción o las capacidades conforme sea necesario.

Componentes estandarizados y métodos de trabajo

En operaciones de servicio repetitivas, es posible obtener grandes eficiencias si se analizan los métodos de trabajo y se documentan las mejoras para uso de todos los empleados. Por ejemplo, UPS realiza un monitoreo constante de sus métodos de trabajo, desde clasificar paquetes hasta entregarlos y hacer las revisiones necesarias para mejorar el servicio. En la manufactura, la estandarización de los componentes aumenta la cantidad total que debe producirse de ese componente. Por ejemplo, una empresa que produce 10 productos a partir de 1,000 componentes diferentes puede rediseñar sus productos de manera que estén formados solo de 100 componentes distintos con requerimientos diarios mayores. Panasonic hizo una estandarización similar con sus tarjetas de circuitos impresos según la viñeta de inicio del capítulo. Como los requerimientos por componente aumentan, cada trabajador realiza una tarea o método de trabajo estandarizado con mayor frecuencia por día. La productividad tiende a aumentar porque los trabajadores aprenden a hacer su tarea con más eficiencia debido a la repetición. Los componentes estandarizados y los métodos de trabajo ayudan a la empresa a lograr los objetivos de alta productividad y bajos inventarios de los sistemas esbeltos.

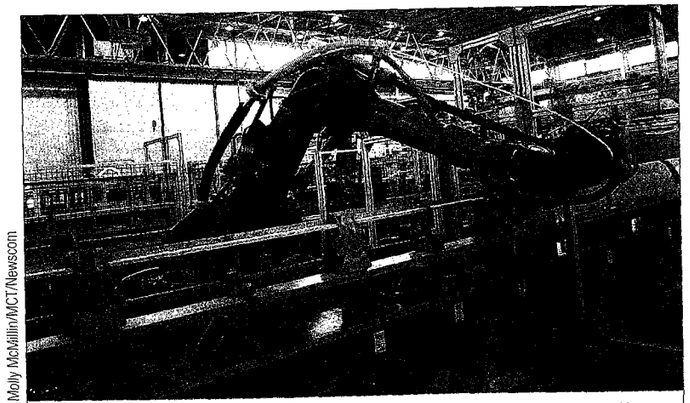
Fuerza de trabajo flexible

El papel de los trabajadores se eleva en los sistemas esbeltos. Los trabajadores en fuerzas de trabajo flexibles se pueden capacitar para realizar más de un trabajo. Un beneficio de la flexibilidad es la habilidad para cambiar a los trabajadores entre las estaciones de trabajo para aliviar los cuellos de botella conforme surgen sin necesidad de amortiguadores de inventarios, que es un aspecto importante de los sistemas esbeltos. Además los trabajadores pueden colaborar y hacer el trabajo de quienes están de vacaciones o enfermos. Aunque asignar trabajadores a tareas que no hacen normalmente puede reducir la eficiencia por un tiempo, cierta rotación en el trabajo tiende a aliviar el aburrimiento y refrescarlos. En algunas empresas que han implementado sistemas esbeltos, los trabajadores con capacitación cruzada intercambian trabajos cada dos horas.

Cuanto más personalizado es el servicio o producto, mayor es la necesidad de la empresa de una fuerza de trabajo con habilidades múltiples. Por ejemplo, los talleres de reparación de equipos estereofónicos requieren personal con capacitación amplia que pueda identificar una amplia variedad de problemas con componentes cuando el cliente trae una unidad defectuosa y luego poder repararla. De otra manera, los diseños de "back office", como las operaciones de procesamiento de correo en una oficina postal grande, tienen empleados con trabajos de definición más estrecha debido a la naturaleza repetitiva de las tareas que deben realizar. Estos empleados no necesitan adquirir tantas habilidades alternativas. En algunas situaciones, cambiar a los trabajadores a otros trabajos puede requerir una capacitación larga y costosa.

Automatización

La automatización juega un papel muy importante en los sistemas esbeltos y es una clave para operaciones de bajo costo. Ahorra dinero, debido a la reducción de inventarios, y otras eficiencias se pueden invertir en la automatización para disminuir los costos. Los beneficios, por supuesto, se traducen en ganancias mayores, o más participación en el mercado (porque los precios pueden reducirse), o bien, ambos. La automatización puede jugar un papel muy importante cuando se trata de la prestación de servicios esbeltos. Por ejemplo, los bancos ofrecen cajeros automáticos que proporcionan diversos servicios bancarios a la carta las 24 horas del día. Sin embargo, la automatización debe ser planificada cuidadosamente. Muchos administradores creen que si un poco de automatización es buena, cuanto más haya de esta es mejor, lo cual no siempre es verdad. A veces, los seres humanos pueden hacer algunos trabajos mejor que los robots y que los sistemas automatizados de ensamblaje.



Molly McMillin/MCT/Newscom

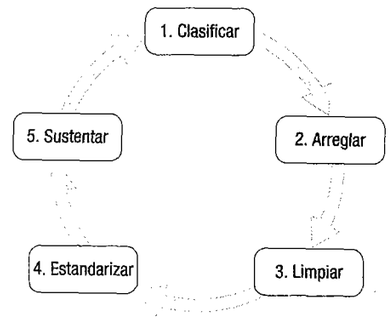
La planta de Spirit AeroSystems en Prestwick, Escocia, ha tenido grandes cambios. Uno de ellos es la inversión en automatización en la línea de producción A320.

Prácticas Cinco S

Cinco S (5S) es una metodología para organizar, limpiar, desarrollar y sustentar un entorno de trabajo productivo. Representa cinco términos relacionados

donde cada uno comienza con *S* (en inglés), que describen las prácticas del entorno de trabajo que conducen a controles visuales y producción esbelta. Como se ve en la figura 8.2, estas cinco prácticas: clasificar, arreglar, limpiar, estandarizar y sustentar funcionan una sobre otra de manera sistemática para llegar a tener sistemas esbeltos. Estas prácticas están interrelacionadas y no son algo que pueda hacerse como un proyecto por separado. Como tales, sirven para activar y forman un fundamento esencial de los sistemas esbeltos. La tabla 8.2 muestra los términos[3] que representan 5S y lo que implican.

Por lo común se acepta que 5S forma una piedra angular en la reducción de desperdicio, así como la eliminación de tareas, actividades y materiales innecesarios. Las prácticas 5S pueden habilitar a los trabajadores para que visualicen todo de manera diferente, den prioridad a las tareas y logren un mayor grado de concentración. También se pueden aplicar a muy diversas situaciones de manufactura y servicios, incluyendo espacios de trabajo, oficinas, depósitos de herramientas y plantas en la organización. Se ha demostrado que la implantación de 5S lleva a menores costos y a un entorno de trabajo seguro. Además, desarrolla la necesidad de disciplina para hacer que los sistemas esbeltos funcionen bien.



▲ **FIGURA 8.2**
Prácticas 5S

cinco S (5S)
Metodología que consiste en cinco prácticas en el lugar de trabajo —clasificar, arreglar, limpiar, estandarizar y sustentar— que conducen a controles visuales y producción esbelta.

TABLA 8.2 | DEFINICIÓN DE 5S

Término 5S	Definición
1. Clasificar	Separar los artículos necesarios de los innecesarios (incluye herramientas, partes, materiales y documentación) y descartar los innecesarios.
2. Arreglar	Acomodar con cuidado lo que queda, con un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar. Organizar el área de trabajo para que sea sencillo encontrar lo que se requiere.
3. Limpiar	Limpiar y lavar el área de trabajo hasta que brille.
4. Estandarizar	Establecer programas y métodos para realizar la limpieza y clasificación. Formalizar la limpieza que resulta al realizar con regularidad las tres primeras prácticas S de manera que se mantenga una limpieza permanente y un estado de buena disposición.
5. Sustentar	Crear una disciplina para realizar las primeras cuatro prácticas S, con las que todos entienden, obedecen y practican las reglas dentro de la planta. Implementar mecanismos para sustentar las ganancias con la participación de la gente y reconocerlas a través del sistema de medición del desempeño.

Mantenimiento preventivo total (TPM)

Debido a que los sistemas esbeltos enfatizan los flujos de trabajo bien sintonizados y poca holgura de capacidad o amortiguador de inventario entre estaciones de trabajo, las descomposturas de las máquinas pueden ser un problema. El mantenimiento preventivo total (TPM, *total preventive maintenance*), que también se conoce como mantenimiento productivo total, puede reducir la frecuencia y duración de las descomposturas. Después de realizar sus actividades de mantenimiento, los técnicos pueden probar otras partes de máquinas que quizá necesiten remplazo. Cambiar partes durante periodos normales programados de mantenimiento es más sencillo y rápido que lidiar con las descomposturas durante la producción. El mantenimiento se hace según un programa que equilibra el costo del mantenimiento preventivo, así como los riesgos y costos de una máquina descompuesta. El mantenimiento preventivo de rutina es importante para los negocios de servicio que dependen de maquinaria como los juegos y paseos en Disney World o en los estudios Universal.

Otra táctica es responsabilizar a los trabajadores del mantenimiento rutinario de su propio equipo, que desarrollará el orgullo del empleado al mantener las máquinas en la mejor condición. No obstante, esta táctica suele estar limitada a tareas generales, lubricaciones menores y ajustes. El mantenimiento de las máquinas de alta tecnología requiere especialistas capacitados. De cualquier modo, realizar tareas —incluso sencillas— de mantenimiento recorre un largo camino hacia la mejora del desempeño de las máquinas.

Para las mejoras a largo plazo, se pueden recolectar datos para establecer tendencias en los patrones de falla de las máquinas, los cuales se analizan después para establecer mejores estándares y procedimientos para el mantenimiento preventivo. Los datos también pueden proporcionar la historia de las fallas y los costos en que se incurrió para mantener los sistemas.

[3]Los términos japoneses para las 5S son: *seiri, seiton, seiso, seiketsu* y *shitsuke*, respectivamente.

Sistema de producción Toyota

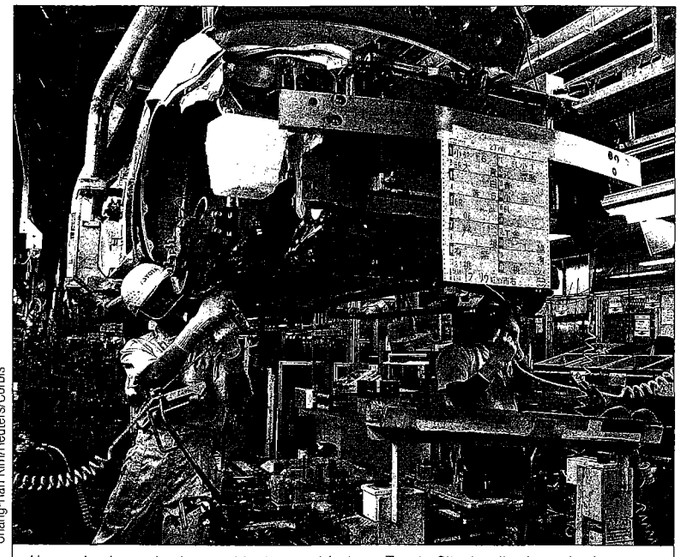
Si tuviera que seleccionar una compañía que de manera regular involucra las características mencionadas de los sistemas esbeltos y además ejemplifica la excelencia en la manufactura de automóviles, es probable que su elección fuera Toyota. A pesar de su reciente problema con la calidad y la devolución para reparación de sus productos, al igual que los faltantes de componentes y los retrasos en el lanzamiento de nuevos modelos, ello ocasionado por el terremoto de marzo de 2011, Toyota se ha convertido en uno de los principales fabricantes de automóviles en el mundo, además de ser el más admirado. Con presencia en todo el mundo, Toyota tiene 12 plantas de manufactura tan solo en Norteamérica, que producen más de un millón y medio de vehículos por año. Gran parte de este éxito se atribuye al famoso Sistema de producción Toyota (SPT), uno de los sistemas esbeltos de manufactura más admirados que existen. Replicar el sistema, sin embargo, tiene muchas dificultades. ¿Qué hace funcionar al sistema y por qué Toyota ha podido utilizarlo con éxito en muchas plantas diferentes?

La mayoría de las personas externas ven al sistema de producción Toyota como un conjunto de herramientas y procedimientos que se pueden observar durante una visita a la planta. Aun cuando son importantes para el éxito del SPT, no son la clave. Lo que muchos no ven es que mediante el proceso de mejora continua, Toyota forma una organización que ha aprendido a lo largo de 50 años. Los sistemas esbeltos requieren mejoras constantes para aumentar la eficiencia y reducir el desperdicio. El sistema Toyota estimula a los empleados para que experimenten mejores maneras de hacer su trabajo. De hecho, Toyota establece todas sus operaciones como "experimentos" y enseña a sus empleados de todos los niveles cómo utilizar el método científico para la solución de problemas.

La base del SPT está formada por cuatro principios. Primero, todo el trabajo debe estar completamente especificado en cuanto a contenido, secuencia, tiempo y resultados. Los detalles son importantes, de otra manera faltaría un cimiento para las mejoras. Segundo, cada conexión cliente-proveedor debe ser directa, no ambigua: especificar a las personas involucradas, la forma y la cantidad de los servicios o bienes que se proporcionan, la manera que cada cliente hace los pedidos y el tiempo esperado en el que se cumplirán estos. Las conexiones cliente-proveedor pueden ser internas (de empleado a empleado) o externas (de compañía a compañía). Tercero, la ruta de cada servicio y producto debe ser sencilla y directa. Esto es, los servicios o bienes no fluyen a la siguiente persona o máquina disponible, sino a una persona o máquina específica. Con este principio, los empelados pueden determinar, por ejemplo, si existe un problema de capacidad en una estación de trabajo en particular y luego analizar las maneras de resolverlo.

Estos primeros tres principios definen el sistema con detalle especificando cómo trabajan los empleados, cómo interactúan y cómo están diseñados los flujos de trabajo. No obstante, estas especificaciones son en realidad "hipótesis" acerca de la manera en que el sistema debe trabajar. Por ejemplo, si algo sale mal en una estación de trabajo varias veces, la hipótesis de los métodos que usa el empleado para hacer el trabajo se rechaza. El cuarto principio es, entonces, que cualquier mejora al sistema debe hacerse de acuerdo con el método científico, bajo la guía de un maestro, en el nivel organizacional más bajo posible. El método científico incluye establecer con claridad una hipótesis verificable de la forma, "si hacemos los siguientes cambios específicos, esperamos lograr este resultado específico". La hipótesis debe entonces probarse en una variedad de condiciones. Trabajar con un maestro, que con frecuencia es el supervisor de los empleados, es importante para convertirse en una organización que aprende. Los empleados aprenden el método científico y con el tiempo se convierten en maestros de otros. Por último, hacer mejoras al nivel más bajo de la organización significa que los empleados que de hecho realizan el trabajo participan en forma activa en las mejoras. Se recomienda a los administradores que solo apoyen a los empleados, no que arreglen sus problemas.

Estos cuatro principios son muy sencillos. Sin embargo, es difícil—pero no imposible—replicarlos. Las organizaciones que los implementan con éxito disfrutan los beneficios de un sistema esbelto que se adapta al cambio. El sistema esbelto de Toyota la convirtió en el líder innovador de la industria del automóvil y sirvió como un punto de partida importante para su éxito.

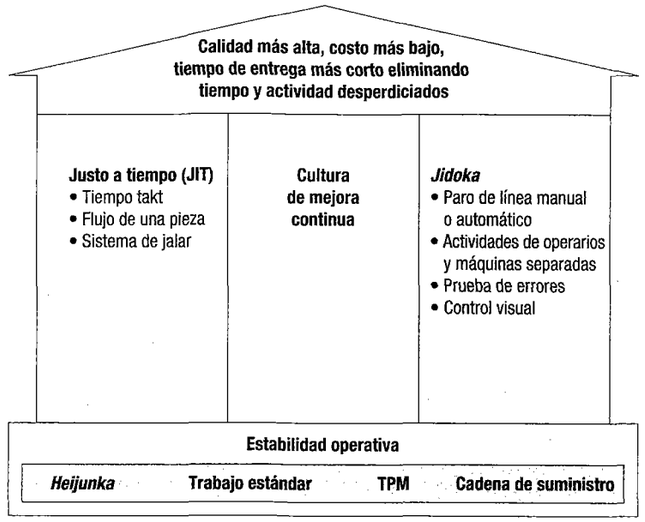


Chang-Ran Kim/Reuters/Corbis

Un empleado ayuda al ensamble de un vehículo en Toyota City, localizada en Japón. El sistema de producción Toyota está entre los sistemas esbeltos de manufactura más admirados en el mundo.

Casa de Toyota

Taiichi Ohno y Eiji Toyoda crearon una representación gráfica mostrada en la figura 8.3 para explicar el sistema de producción Toyota (SPT) a sus empleados y proveedores, que se conoce como la casa de Toyota. Capta los cuatro principios del SPT descritos y representa todos los elementos esenciales de los sistemas esbeltos que hacen que el SPT funcione bien. El techo, que representa las metas primarias de alta calidad, bajo costo, eliminación de desperdicio y tiempos de entrega cortos, está apoyado en los pilares gemelos de JIT y *jidoka*. Dentro de JIT, el SPT utiliza un sistema de jalar que se enfoca en los métodos de flujo de trabajo de una pieza que puede cambiar para igualar el tiempo takt del proceso a la demanda del mercado debido a que las reducciones en las preparaciones y los tiempos de transición cortos se facilitan con los trabajadores con capacidades múltiples en las distribuciones por células. Implementar las diferentes herramientas de *jidoka* asegura que la calidad esté integrada a la fabricación del producto y no solo se inspeccione al final. Por último, dentro del entorno de mejora continua, la estabilidad operativa de la casa de Toyota se proporciona en la base aprovechando otros conceptos como *heijunka*, métodos de trabajo estandarizado, prácticas 5S, mantenimiento preventivo total y eliminación de desperdicio en toda la cadena de suministro dentro de la cual los productos Toyota fluyen para llegar a sus clientes finales.



▲ **FIGURA 8.3**
Casa de Toyota[4]

Diseño de distribuciones de sistemas esbeltos

Los flujos en línea se recomiendan al diseñar las distribuciones de sistemas esbeltos porque eliminan desperdicio al reducir la frecuencia en las preparaciones. Si los volúmenes especificados de productos son suficientemente grandes, se pueden organizar grupos de máquinas y trabajadores en una distribución de flujo en línea para eliminar las preparaciones por completo. En una situación de servicio, los administradores de los procesos de servicio de back office pueden organizar a sus empleados y equipos de manera similar para proporcionar flujos de trabajo uniformes en todo el proceso y, con ello, eliminar el tiempo de empleados desperdiciado. Los bancos utilizan esta estrategia en sus operaciones de verificaciones, lo mismo que hace UPS en sus procesos de clasificación.

Cuando los volúmenes no son suficientes para justificar una línea dedicada de varios trabajadores a un solo tipo de cliente o producto, los administradores todavía pueden obtener beneficios de la distribución de flujo en línea —manejo de materiales más sencillo, preparaciones más bajas y costos de mano de obra menores— al crear este tipo de distribuciones en algunas porciones de la instalación. Dos técnicas para crear estas distribuciones son células de un trabajador y varias máquinas (UTVM) y células de tecnología de grupos (TG).

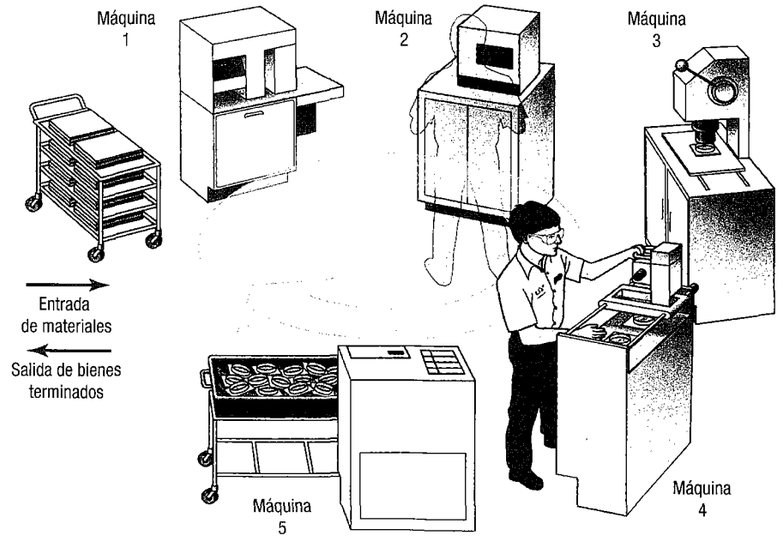
célula de un trabajador, varias máquinas (UTVM)
Célula de una persona, en la cual un trabajador opera varias máquinas diferentes al mismo tiempo para lograr un flujo en línea.

Un trabajador, varias máquinas

Si los volúmenes no son suficientes para mantener a varios trabajadores ocupados en una línea de producción, el administrador puede establecer una pequeña línea para mantener ocupado a un trabajador. La **célula de un trabajador, varias máquinas (UTVM)** es una estación de trabajo en la que un empleado opera varias máquinas a la vez para lograr un flujo en línea. Tener un trabajador operando varias máquinas es usual. Sin embargo, con una célula de este tipo, se tienen varias máquinas en la línea.

La figura 8.4 ilustra una célula de un empleado y cinco máquinas para producir una parte de metal, con las máquinas en círculo alrededor del trabajador (también se usa la forma de U). El operario se mueve en el círculo realizando las tareas (típicamente de carga y descarga) que no se han

▼ **FIGURA 8.4**
Célula de un trabajador, varias máquinas



[4]**TBM** Consulting Group; **http://www.tbmcg.com/about/ourroots/house_toyota.php**

automatizado. Se pueden producir diferentes productos o partes en una célula UTVM cambiando la disposición de las máquinas. Si la preparación de una máquina en particular es tardada, la administración puede agregar un duplicado para uso de la célula siempre que se produce una parte.

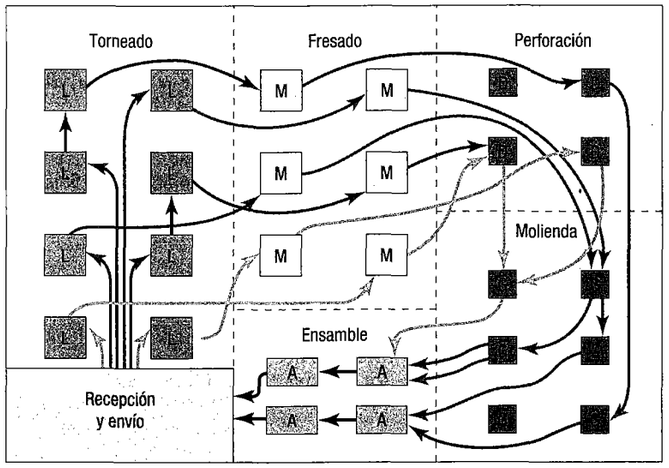
Un arreglo de UTVM reduce el inventario y los requerimientos de mano de obra. El inventario disminuye porque, en lugar de apilar materiales en filas de espera para transportarlas a otra parte de la planta, se mueven directamente a la siguiente operación. La mano de obra se reduce porque se automatiza más trabajo. La adición de varios dispositivos automáticos de bajo costo puede maximizar el número de máquinas incluidas en un arreglo UTVM: cambiadores de herramientas automáticos, cargadores y descargadores, dispositivo de inicio y paro y dispositivos de fallas que detectan partes o productos defectuosos. Los fabricantes están aplicando ampliamente los conceptos de la célula UTVM por su deseo de lograr inventarios bajos.

Tecnología de grupos

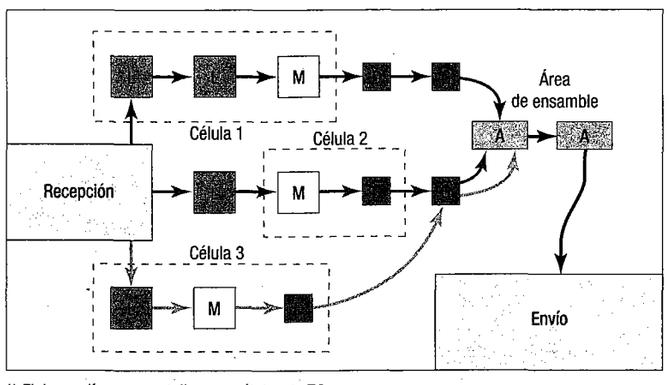
tecnología de grupos (TG)

Una opción para lograr distribuciones de flujo en línea con procesos de bajo volumen. Esta técnica crea células que no están limitadas a solo un trabajador y tiene una manera única de seleccionar el trabajo que va a realizar la célula.

Una segunda opción para lograr distribuciones de flujo en línea con procesos de volumen bajo es la **tecnología de grupos (TG)**. Esta técnica de manufactura crea células no limitadas de un trabajador y tiene una manera única para seleccionar el trabajo que hará la célula. El método de TG agrupa partes o productos con características similares en *familias* y coloca grupos de máquinas juntos para su producción. Las familias pueden basarse en tamaño, forma, requerimientos de manufactura o de ruta o en la demanda. La meta es identificar un conjunto de productos con requerimientos similares y minimizar cambios o preparaciones. Por ejemplo, todos los tornillos se pueden asignar a la misma familia porque todos requieren los mismos pasos básicos de proceso, sin importar el tamaño o la forma.



a) Flujos mezclados en un taller sin células de TG



b) Flujos en línea en un taller con células de TG

▲ **FIGURA 8.5**
Flujos de proceso antes y después del uso de células de TG

Fuente: Mikell P. Groover. *Automation, Production Systems, and Computer-Aided Manufacturing.* 1a ed. © 1980. Reimpreso con permiso Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, NJ.

Una vez agrupadas las partes en familias, el siguiente paso es organizar las máquinas o herramientas necesarias para realizar los procesos básicos de estas partes en células separadas. Las máquinas en cada célula requieren solo ajustes menores para realizar los cambios de producto de una parte a la siguiente de la misma familia. Al simplificar las rutas de los productos, las células de TG reducen el tiempo que un trabajo está en la planta. Las filas de materiales que esperan ser procesados se acortan o eliminan. Con frecuencia, el manejo de materiales se automatiza, de modo que, después de cargar la materia prima en la célula, un trabajador no maneja las partes maquinadas hasta que el trabajo termina.

La figura 8.5 compara los flujos de procesos antes y después de crear las células de la TG. La figura 8.5*a* muestra una planta donde las máquinas están agrupadas por funciones: torneado, fresado, perforación, molienda y ensamblaje. Después del torneado, una parte se mueve a una de las máquinas de fresado donde espera en línea hasta que tienen prioridad más alta que los otros trabajos que compiten con la capacidad de la máquina. Cuando termina la operación de fresado, la parte se mueve a la máquina de perforación, y así sucesivamente. Las filas pueden ser largas y crear retrasos significativos. Los flujos de materiales están mezclados porque las partes procesadas en un área de la planta tienen muchas rutas distintas.

Por el contrario, el administrador de la planta mostrada en la figura 8.5*b* identificó tres familias de productos que representan la mayor parte de la producción de la empresa. Una familia siempre requiere dos operaciones en los tornos seguidas de una operación en las fresadoras. La segunda familia siempre requiere una operación en las fresadoras, seguida de una en la molienda. La tercera familia requiere un torno, una máquina fresadora y una prensa de perforación. Por sencillez, solo se muestran los flujos de las partes asignadas a estas tres familias. El resto de las partes se produce fuera de las células y todavía tienen rutas desordenadas. Es posible que haya que duplicar algunos equipos, como cuando se requiere una máquina para una o más células y para operaciones fuera de estas. Sin embargo, al crear células de la TG, el administrador logra definitivamente más flujos en línea y rutas simplificadas.

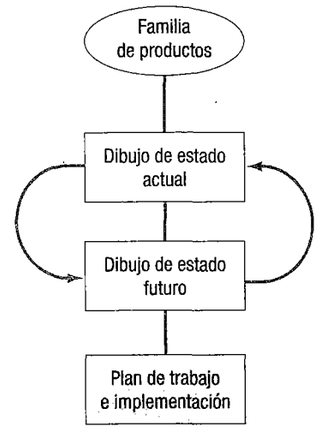
Mapeo de flujo de valor

mapeo de flujo de valor (value stream mapping) (MFV)

Herramienta esbelta cualitativa para eliminar el desperdicio o *muda* que involucra el dibujo del estado actual, el dibujo del estado futuro y un plan de implementación.

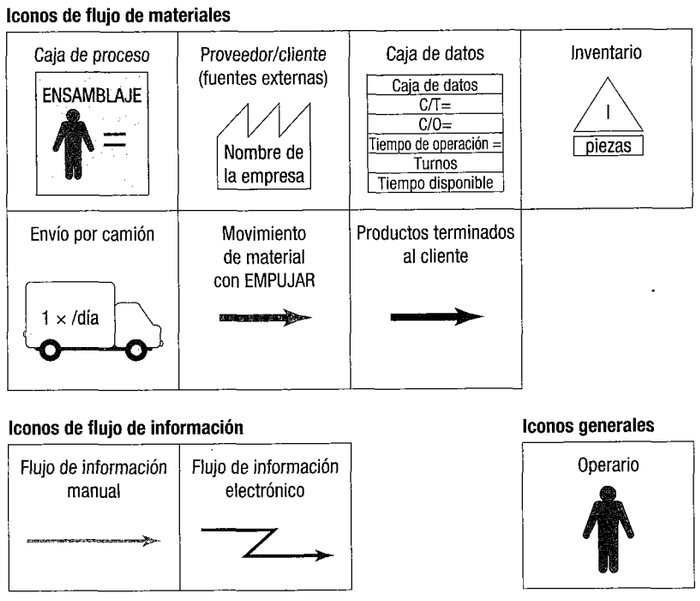
El **mapeo de flujo de valor (MFV)** es una herramienta esbelta cualitativa de uso amplio dirigida a eliminar el desperdicio o muda. El desperdicio en muchos procesos puede llegar a 60%. El mapeo de flujo de valor es útil porque crea un "mapa" visual de cada proceso involucrado en el flujo de materiales y la información en la cadena de valor del producto. Estos mapas consisten en un *dibujo del estado actual,* un *dibujo del estado futuro* y un plan de implementación. El mapeo de flujo de valor se extiende a la cadena de suministro, desde la recepción de materias primas o componentes en la empresa, hasta la entrega de los bienes terminados al cliente. Así, tiende a tener un alcance más amplio, desplegando más información que el mapa del proceso típico o un diagrama de flujo de los esfuerzos de mejora de procesos con Six Sigma. Crear esta representación tan amplia ayuda a los administradores a identificar la fuente de desperdicio en actividades que no agregan valor.

El mapeo de flujo de valor sigue los pasos mostrados en la figura 8.6. El primer paso es enfocarse en una familia de productos para los que el mapeo se puede hacer. Después se dibuja el mapa del estado actual de la situación de producción existente. Los analistas comienzan por el cliente final y trabajan hacia atrás para dibujar el mapa a mano y registrar los tiempos del proceso real en lugar de confiar en la información no obtenida por observación de primera mano. La información para obtener el material y los flujos de información pueden obtenerse en la planta, incluyendo los datos relacionados con cada proceso: tiempo de ciclo (C/T), tiempo de preparación o cambio (C/O), tiempo de operación (tiempo de máquina disponible bajo demanda expresado como porcentaje), tamaños de lote de producción, número de personas requeridas para operar el proceso, número de variaciones de producto, tamaño de empaque (para mover el producto a la siguiente etapa), tiempo de trabajo (menos descansos) y tasa de desperdicio de material. El mapeo de flujo de valor utiliza un conjunto estándar de iconos para el flujo del material, el flujo de información y la información general (para denotar operadores, inventario de seguridad, etc.). Aun cuando el glosario completo es extenso, un conjunto representativo de esos iconos se muestra en la figura 8.7. Estos iconos proporcionan un lenguaje común para describir con detalle cómo debe operar la instalación para crear un flujo mejor.



▲ **FIGURA 8.6**
Pasos del mapeo de flujo de valor

Fuente: Mike Rother y John Shook, Learning to See (Brookline, MA: The Lean Enterprise Institute, 2003), p. 9. Copyright © Lean Enterprise Institute, Inc. Todos los derechos reservados, 2003. **www.lean.org.**



▲ **FIGURA 8.7**
Conjunto seleccionado de iconos para el mapeo de flujo de valor

EJEMPLO 8.1 Determinación del mapa de flujo de valor, tiempo takt y capacidad total

Jensen Bearings Inc., un fabricante de cojinetes de bola localizado en Lexington, Carolina del Sur, recibe hojas de materias primas de Kline Steel Company una vez a la semana, cada lunes, para una familia de productos de retenedores (carcasa en la que se sostienen los cojinetes) y luego envía su producto terminado a un cliente fabricante automotriz de segundo nivel llamado GNK Enterprises. La familia de productos del fabricante de cojinetes que estamos considerando consiste en dos tipos de retenedores —grande (L) y pequeño (S)— que se empacan para el envío diario en charolas retornables con 60 retenedores cada una. El proceso del fabricante consiste en una célula que contiene una operación de prensa, una célula de perforación y formado y una operación de lijado para terminarla; después de esto, los dos tipos de retenedores se organizan para el envío. La información recolectada por el administrador de operaciones de Jensen Bearings Inc. se muestra en la tabla 8.3.

TABLA 8.3 | DATOS DE OPERACIONES PARA UNA FAMILIA DE RETENEDORES EN JENSEN BEARINGS

Atributos del proceso global	**Demanda promedio: 3,200/día (1,000 "L"; 2,200 "S")** **Tamaño de lote: 1,000** **Número de turnos por día: 1** **Disponibilidad: 8 horas por turno con dos descansos de 30 minutos**	
Paso 1 del proceso	Prensa	Tiempo de ciclo = 3 segundos Tiempo de preparación = 2 horas Tiempo de operación = 90% Operarios = 1 Cada parte cada = 1 semana Trabajo en proceso = 5 días de hojas (antes de prensa)
Paso 2 del proceso	Perforación y formado	Tiempo de ciclo = 22 segundos Tiempo de preparación = 30 minutos Tiempo de operación = 100% Operarios = 1 Trabajo en proceso = 1,000 "L", 1,250 "S" (antes de perforación y formado)
Paso 3 del proceso	Lijado para terminado	Tiempo de ciclo = 35 segundos Tiempo de preparación = 45 minutos Tiempo de operación = 100% Operarios = 1 Trabajo en proceso = 1,050 "L", 2,300 "S" (antes de terminado)
Paso 4 del proceso	Envío	Trabajo en proceso = 500 "L", 975 "S" (después de terminado)
Envío al cliente	Un envío de 3,200 unidades cada día en charolas de 60 piezas	
Flujo de información	Todas las comunicaciones del cliente son electrónicas: Pronósticos a 180/90/60/30/días Orden diaria Todas las comunicaciones con el proveedor son electrónicas Pronóstico 4 semanas Fax semanal Hay un programa semanal entregado manualmente a prensa, perforación y formado y lijado para terminado Lijado y un programa de envío diario entregado manualmente a Envío Todos los materiales se empujan	

a) Con los datos mostrados en la tabla 8.3, cree un mapa de flujo de valor para Jensen Bearings y muestre cómo se calculan los datos de la caja de datos.

b) ¿Cuál es el tiempo takt para esta célula de manufactura?

c) ¿Cuál es el tiempo de entrega de producción en cada proceso en la célula de manufactura?

d) ¿Cuál es el tiempo de procesamiento total de esta célula de manufactura?

e) ¿Cuál es la capacidad de esta célula de manufactura?

SOLUCIÓN

a) Utilizamos los iconos del mapeo de valor para ilustrar, en la figura 8.8, cómo se observa en el mapa de estado actual para Jensen Bearings. Las características del proceso y los inventarios de seguridad enfrente de cada proceso se muestran en ese mapa de la figura 8.8. Un trabajador ocupa cada estación. Los flujos de proceso mostrados en la parte inferior de la figura son similares a los diagramas de flujo estudiados en el capítulo 4, "Análisis de procesos", excepto que aquí se presenta información más detallada de cada proceso. Sin embargo, lo que en realidad distingue a los mapas de flujo de valor es la inclusión de información de los flujos en la parte superior de la figura 8.8, que planea y coordina todas las actividades de los procesos. Los mapas de flujos de valor son más exhaustivos que los diagramas de flujo de procesos y unen los sistemas de planeación y control (estudiados en el capítulo 16, "Planeación de recursos") con los diagramas de flujo detallados (capítulo 4) para crear una visión completa de la cadena de suministro que incluye tanto información como flujos de materiales entre la empresa y sus proveedores y clientes.

b) El tiempo takt de la célula es la tasa a la que esta produce unidades para igualar la demanda.

Demanda diaria = [(1,000 + 2,200) piezas por semana]/5 días hábiles por semana = 640 piezas por día.

Disponibilidad diaria = (7 horas por día) × (3,600 segundos por hora) = 25,200 segundos por día.

Tiempo takt = disponibilidad diaria/demanda diaria = (25,200 segundos por día)/640 piezas por día = 39.375 segundos por pieza.

c) El tiempo de entrega de producción (en días) se calcula sumando el inventario que hay entre los pasos de proceso y dividiendo entre la demanda diaria.

Tiempo de entrega de materia prima = 5.0 días.

Tiempo de entrega de trabajo en proceso entre prensa y perforación y formación = (2,250/640) = 3.5 días.

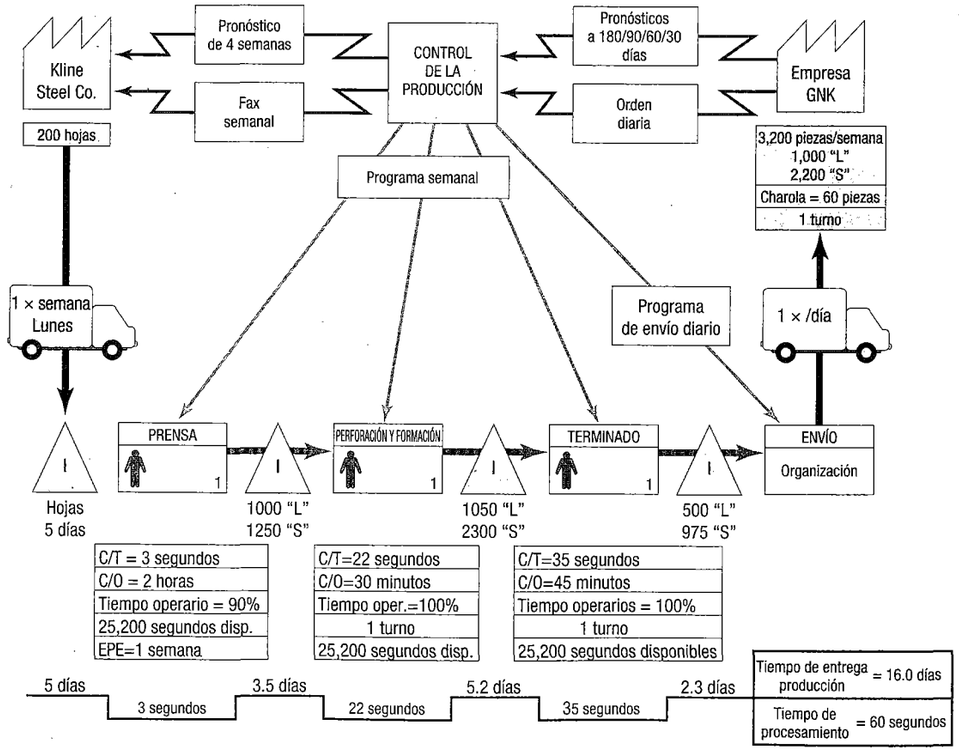
Tiempo de entrega de trabajo en proceso entre perforación y formación y terminado = (3,350/640) = 5.2 días.

Tiempo de entrega de trabajo en proceso entre terminado y envío = (1,475/640) = 2.3 días.

Tiempo de entrega de producción total = (5 + 3.5 + 5.2 + 2.3) = 16 días.

d) El tiempo de ciclo de cada proceso se suma para calcular el tiempo de procesamiento total, que para la célula de manufactura es (3 + 22 + 35) = 60 segundos.

e) La capacidad de la célula se puede calcular localizando el cuello de botella y calculando el número de unidades que se pueden procesar en el tiempo disponible por día en ese cuello de botella con el tamaño de lote de 1,000 unidades.



◀ **FIGURA 8.8**
Mapa de estado actual para una familia de retenedores en Jensen Bearings

Capacidad en prensa	Capacidad en perforación y formación	Capacidad en terminado
Tiempo de ciclo = 3 segundos	Tiempo de ciclo = 22 segundos	Tiempo de ciclo = 35 segundos
Tiempo de preparación = (2 h*3,600 segundos por h)/1,000 unidades por lote = **7.2 segundos**	Tiempo de preparación = (30 minutos*60 s por minuto/1,000 unidades por lote = **1.8 segundos**	Tiempo de preparación = (45 minutos*60 s por minuto)/1,000 unidades por lote = **2.7 segundos**
Tiempo de proceso por unidad = (3 + 7.2) = **10.2 segundos**	Tiempo de proceso por unidad = (22 + 1.8) = **23.8 segundos**	Tiempo de proceso por unidad = (35 + 2.7) = **37.7 segundos**

Con lote de 1,000 unidades, el proceso de lijado y terminado es el cuello de botella.

Disponibilidad en terminado = 25,200 segundos por día

Tiempo en cuello de botella (con preparación) = 37.7 segundos

Capacidad (disponibilidad/tiempo en cuello de botella) = 25,200/37.7 = 668 unid. por día

PUNTO DE DECISIÓN

Aunque el tiempo de procesamiento total para cada retenedor es solo un minuto, toma 16 días en tiempo de entrega de la producción acumulada. Es claro que muda o el desperdicio está presente y existen oportunidades para reconfigurar los procesos existentes con la meta de eliminar inventarios y reducir el tiempo de entrega total.

Una vez que se tiene el mapa de estado actual, los analistas pueden utilizar los principios de los sistemas esbeltos para crear un mapa de estado futuro con flujos de producto más directos. El dibujo del estado futuro resalta las fuentes de desperdicio y cómo eliminarlas. Los desarrollos de los mapas de estado actual y futuro son esfuerzos que se traslapan. Finalmente, el último paso está dirigido a preparar y usar de manera activa un plan de implementación para lograr el estado futuro. Puede tomar unos días la creación de un mapa de estado futuro hasta el punto de poder iniciar la implementación para una sola familia de productos. En esta etapa, el mapa del estado futuro se convierte en el modelo para implementar un sistema esbelto y se ajusta conforme avanza la implementación. Cuando el estado futuro se convierte en una realidad, se dibuja un nuevo mapa de estado futuro, con lo que se establece la mejora continua a nivel del flujo de valor.

A diferencia de la teoría de restricciones (vea el capítulo 7, "Administración de restricciones"), que acepta los cuellos de botella existentes en el sistema y luego trata de maximizar la producción, dado ese conjunto de restricciones, el mapeo de flujo de valor se esfuerza por comprender mediante los mapas de estado actual y futuro cómo alterar los procesos existentes para eliminar los cuellos de botella y otras actividades antieconómicas. La meta es llevar la tasa de producción del proceso completo cerca de la tasa de demanda deseada del cliente. Los beneficios de aplicar esta herramienta al proceso de eliminación de desperdicio incluyen menores tiempos de entrega y menos inventarios de trabajo en proceso, reducción en las tasas de retrabajo y desperdicio, además de menores costos de mano de obra indirecta.

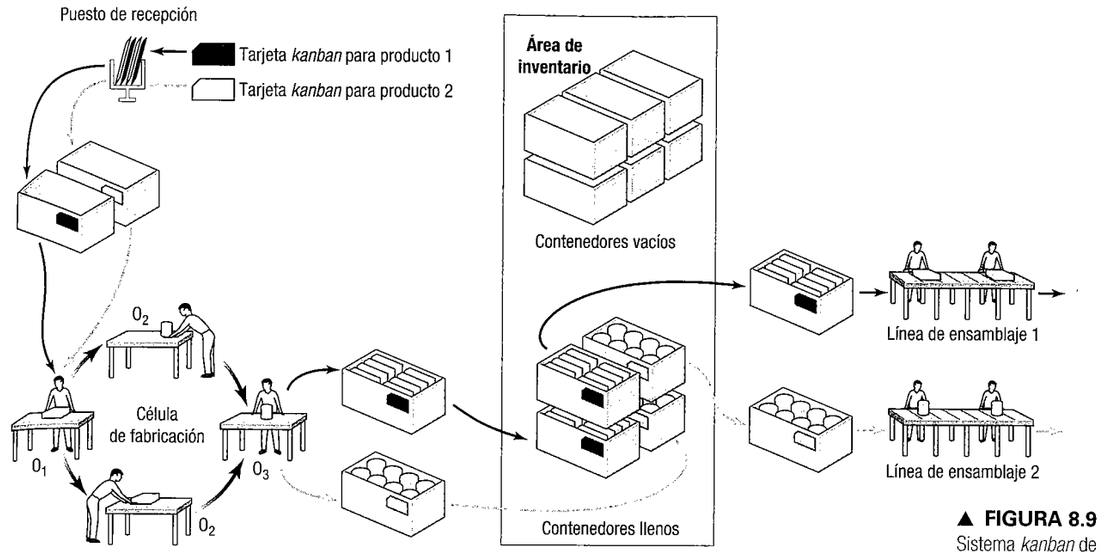
Sistema *kanban*

kanban

Palabra japonesa que significa "tarjeta" o "registro visible", que se refiere a la utilización de tarjetas para controlar el flujo de producción en toda la fábrica.

Uno de los aspectos más publicitados de los sistemas esbeltos, y el SPT en particular, es el sistema *kanban* desarrollado por Toyota. ***Kanban***, que significa "tarjeta" o "registro visible" en japonés, se refiere a tarjetas que se utilizan para controlar el flujo de producción en la fábrica. En los sistemas *kanban* más básicos, se coloca una tarjeta a cada contenedor de artículos producidos. El contenedor tiene un porcentaje dado de los requerimientos de producción diaria de un artículo. Cuando el usuario de las partes vacía el contenedor, la tarjeta se quita y se coloca en un puesto de recepción. El contenedor vacío se lleva al área de inventario y la tarjeta indica la necesidad de otro contenedor de partes. Cuando se reabastece el contenedor, se incluye la tarjeta y se regresa al área de inventario en proceso que corresponde. El ciclo comienza de nuevo cuando el usuario de las partes toma el contenedor con la tarjeta incluida.

La figura 8.9 muestra cómo funciona un sistema de una tarjeta *kanban* cuando una célula de manufactura alimenta dos líneas de ensamble. Cuando una línea de ensamble requiere más partes, la tarjeta kanban de esas partes se lleva al puesto de recepción y un contenedor lleno se remueve del área de inventario. El punto de recepción acumula tarjetas para las líneas de ensamble y un programador determina la secuencia de producción de las partes a reabastecer. En este ejemplo, la célula de fabricación trabaja en el producto 2 (gris) antes de fabricar el producto 1 (negro). La célula consiste en tres operaciones diferentes, pero la operación 2 tiene dos estaciones de trabajo. Una vez iniciada la producción en la célula, el producto comienza en la operación 1, pero puede ir a cualquiera de las dos estaciones que realizan la operación 2, dependiendo de la carga de trabajo en el momento. Por último, el producto se procesa en la operación 3 antes de llevarlo al área de inventario.



▲ **FIGURA 8.9**
Sistema *kanban* de una tarjeta

Reglas generales de operación

Las reglas de operación para sistemas de una tarjeta son sencillas y están diseñadas para facilitar el flujo de materiales al mismo tiempo que mantienen el control de los niveles de inventario.

1. Cada contenedor debe tener una tarjeta.
2. La línea de ensamblaje siempre retira materiales de la célula de fabricación. La célula de fabricación nunca empuja las partes a la línea de ensamble porque, tarde o temprano, llegarían partes que la línea todavía no necesita para la producción.
3. Los contenedores de partes nunca deben retirarse de área de inventario sin antes haber colocado una tarjeta *kanban* en el punto de recepción.
4. Los contenedores siempre deben tener el mismo número de partes sin defectos. La utilización de contenedores no estándar o el llenado irregular de contenedores desorganiza el flujo de producción de la línea de ensamblaje.
5. Solo las partes no defectuosas deben pasar a la línea de ensamble para hacer el mejor uso de los materiales y el tiempo del trabajador. Esta regla refuerza el concepto de construir calidad desde de la fuente, que es una característica importante de los sistemas esbeltos.
6. La producción total no debe exceder la cantidad total autorizada en las *kanbans* del sistema.

Toyota utiliza un sistema de dos tarjetas, basado en una tarjeta de retiro y una tarjeta de orden de producción para tener un control más estricto de las cantidades de inventario. La tarjeta de retiro especifica el artículo y la cantidad que el usuario del artículo debe retirar del productor del mismo, al igual que las áreas de almacenamiento para ambos, el usuario y el productor. La tarjeta de orden de producción especifica el artículo y la cantidad a producir, los materiales requeridos, dónde encontrarlos y dónde poner los artículos producidos. Los materiales no se pueden retirar sin una tarjeta de retiro y la producción no puede iniciar sin una tarjeta de producción. Las tarjetas están colocadas en los contenedores cuando la producción comienza. Al manipular el número de tarjetas de retiro y producción en juego en cualquier momento, la administración puede controlar el flujo de materiales en el sistema de producción.

Determinación del número de contenedores

El número de contenedores autorizado en el SPT determina la cantidad de inventario autorizado. La administración debe tomar dos decisiones: **1.** el número de unidades que debe haber en cada contenedor y **2.** el número de contenedores que van y vienen entre la estación proveedora y la estación usuaria. La primera decisión significa determinar el tamaño del lote de producción.

El número de contenedores que van y vienen entre dos estaciones afecta directamente las cantidades de inventario de trabajo en proceso, que incluye cualquier inventario de seguridad para cubrir requerimientos inesperados.[5] Los contenedores pasan cierto tiempo en producción, en una

[5]Se estudian inventarios de seguridad y su utilización con más detalle en el capítulo 9, "Administración del inventario de la cadena de suministro", y en el capítulo 10, "Diseño de la cadena de suministro".

línea de espera, en un lugar de almacenamiento o en tránsito. La clave para determinar el número de contenedores requerido es estimar el tiempo de entrega promedio necesario para producir un contenedor de partes. El tiempo de entrega es una función del tiempo de proceso por contenedor en la estación del proveedor, el tiempo de espera durante el proceso de producción y el tiempo requerido para el manejo de materiales. La ley de Little, que dice que el inventario promedio de trabajo en proceso (WIP) es igual a la tasa de demanda multiplicada por el tiempo promedio que una unidad pasa en el proceso de manufactura, se puede usar para determinar el número de contenedores necesario para apoyar a la estación del usuario (vea el suplemento B, "Líneas de espera").

WIP = (tasa de demanda promedio) (tiempo promedio de contenedor en producción) + inventario de seguridad

En esta aplicación de determinar el número de contenedores necesarios para una parte, WIP es el producto de κ, el número de contenedores y c, el número de unidades en cada contenedor. En consecuencia,

$$\kappa c = \bar{d}(\bar{\omega} + \bar{\rho})(1 + \alpha)$$

$$\kappa = \frac{\bar{d}(\bar{\omega} + \bar{\rho})(1 + \alpha)}{c}$$

donde:

κ = número de contenedores para una parte
$\bar{d}$ = demanda diaria esperada para la parte, en unidades
$\bar{\omega}$ = tiempo de espera promedio durante la producción más el tiempo de manejo de materiales por contenedor, en fracciones de día
$\bar{\rho}$ = tiempo de procesamiento promedio por contenedor, en fracciones de día
c = cantidad de partes en un contenedor estándar
α = variable política que agrega inventario de seguridad para cubrir circunstancias inesperadas (Toyota utiliza valores no mayores a 10 por ciento)

Por supuesto, el número de contenedores debe ser un entero. Al redondear κ hacia arriba se obtiene más inventario que el deseado, mientras que al redondearla hacia abajo se obtiene menos.

La cantidad en el contenedor, c, y el factor de eficiencia, κ, son variables que la administración puede usar para controlar el inventario. Ajustar c cambia el tamaño del lote de producción y ajustar κ cambia la cantidad de inventario de seguridad. El sistema *kanban* permite al administrador afinar el flujo de materiales en el sistema de manera directa. Por ejemplo, quitar tarjetas del sistema reduce el número de contenedores autorizados de la parte, con lo que se reduce el inventario de la parte. Así, un beneficio importante es la sencillez del sistema, con la que es fácil cambiar la mezcla de productos o el volumen solo ajustando el número de *kanbans* en el sistema.

EJEMPLO 8.2 Determinación del número adecuado de contenedores

Solver-Número de contenedores
Ingrese datos en el área amarilla

Demanda esperada diaria	2000
Cantidad en contenedor estándar	22
Tiempo de espera de contenedor (días)	0.06
Tiempo de procesamiento (días)	0.02
Variable política	10%
Contenedores requeridos	8

▲ **FIGURA 8.10**
Solver de *OM Explorer* para el número de contenedores

Westerville Auto Parts Company produce ensambles de balancines para utilizarlos en los sistemas de giro y suspensión de las camionetas de tracción en las cuatro ruedas. Un contenedor típico de partes pasa 0.02 días en procesamiento y 0.08 días en manejo de materiales y espera durante el ciclo de manufactura. La demanda diaria para la parte es 2,000 unidades. La administración piensa que la demanda del ensamble del balancín es suficientemente incierta para justificar un inventario de seguridad de 10% de su inventario autorizado.

a) Si cada contenedor tiene 22 partes, ¿cuántos contenedores deben autorizarse?

b) Suponga que una propuesta para revisar la distribución de planta reduciría el manejo de materiales y el tiempo de espera por contenedor a 0.06 días. ¿Cuántos contenedores se necesitarían?

SOLUCIÓN

a) Si $\bar{d}$ = 2,000 unidades/día, $\bar{\rho}$ = 0.02 días, α = 0.10, $\bar{\omega}$ = 0.08 días y c = 22 unidades,

$$\kappa = \frac{2{,}000(0.08 + 0.02)(1.0)}{22} = \frac{220}{22} = 10 \text{ contenedores}$$

b) La figura 8.10 de OM Explorer muestra que el número de contenedores baja a ocho.

PUNTO DE DECISIÓN

El tiempo promedio por contenedor es $\bar{\omega} + \bar{\rho}$. Con un tiempo de entrega de 0.10 días, se necesitan 10 contenedores. No obstante, si la distribución mejorada reduce el tiempo de manejo de materiales y el tiempo de espera a $\bar{\omega}$ = 0.06 días, solo serán necesarios ocho contenedores. El inventario máximo autorizado del ensamble del balancín es κc unidades. Así, en el inciso a), el inventario máximo autorizado es 220 unidades, pero en el inciso b), es solo 176 unidades. Al reducir $\bar{w} + \bar{\rho}$ en 20%, se reduce el inventario de la parte 20%. La administración debe equilibrar los costos del cambio de distribución (cargo de una sola vez) contra los beneficios a largo plazo de la reducción de inventario.

Otras señales de *kanban*

Las tarjetas no son la única manera de advertir la necesidad de más producción de una parte. Existen otros métodos menos formales, incluyendo sistemas con y sin contenedores.

Sistema de contenedores Algunas veces, el contenedor mismo se puede usar como dispositivo de señales. Un contenedor vacío indica la necesidad de llenarlo. Unisys adoptó este enfoque para artículos de valor bajo. La cantidad de inventario de la parte se ajusta agregando o quitando contenedores. Este sistema funciona bien cuando el contenedor está diseñado especialmente para una parte específica y ninguna otra parte puede ponerse en él por accidente. Así ocurre cuando el contenedor es de hecho una paleta o dispositivo que se utiliza para posicionar la parte durante un proceso de precisión.

Sistema sin contenedores Se han diseñado sistemas que no requieren contenedores. En las operaciones de línea de ensamblaje utilizan las áreas de sus propias bancas de trabajo para poner las unidades terminadas o usan cuadros pintados, una unidad por cuadro. Cada cuadro pintado representa un contenedor y se calcula el número de cuadros pintados en la banca de cada operario, de manera que se balancee el flujo de la línea. Cuando el usuario subsecuente retira una unidad de uno de los cuadros del productor, el cuadro vacío es una señal de la necesidad de producir otra unidad. McDonald's usa un sistema sin contenedores. La información ingresada por quien toma la orden en la caja se trasmite a los cocineros y ensambladores que producen las hamburguesas solicitadas por el cliente.

La práctica administrativa 8.1 ilustra cómo el Medical Center Shadyside de la Universidad de Pittsburgh utiliza los principios de los sistemas *kanban*, la metodología 5S, la distribución por células y los procesos de flujo continuo para mejorar el desempeño significativamente en su departamento de patología.

Beneficios operativos y aspectos de la implementación

Para lograr una ventaja competitiva y hacer mejoras drásticas, un sistema esbelto puede ser la solución. Los sistemas esbeltos pueden ser una parte integral de una estrategia corporativa basada en la velocidad, porque reduce los tiempos de ciclo, mejora la rotación del inventario e incrementa la productividad de la mano de obra. Estudios recientes también muestran que las prácticas que representan las diferentes componentes de los sistemas esbeltos como JIT, TQM, Six Sigma, mantenimiento preventivo total (TPM) y administración de recursos humanos, individual y colectiva, mejoran el desempeño de las plantas de manufactura lo mismo que de las instalaciones de servicio. Los sistemas esbeltos también implican una fuerte participación de los empleados a través de sesiones de interacción en pequeños grupos, que han tenido resultados de mejoras en muchos aspectos de operaciones, entre los cuales la calidad del servicio o producto no es el menos importante.

Aun cuando los beneficios de los sistemas esbeltos pueden ser sobresalientes, todavía pueden surgir problemas después de que un sistema esbelto lleva un tiempo largo en operación; esto sucedió recientemente con la retirada de productos y un cambio percibido alejándose de la calidad tan estrechamente controlada que siempre ha sido un estándar en Toyota. Además, la implementación de un sistema esbelto puede tomar mucho tiempo. Enseguida comentamos algunos aspectos que los administradores deben conocer cuando implementan un sistema esbelto.

Consideraciones organizacionales

Poner en marcha un sistema esbelto requiere que la administración considere aspectos de estrés del trabajador, la cooperación y confianza entre trabajadores y administración y el sistema de recompensas y clasificaciones de la mano de obra.

Los costos humanos de los sistemas esbeltos Los sistemas esbeltos se pueden acoplar con el control estadístico de procesos (CEP) para reducir las variaciones en la salida. Sin embargo, esta combinación requiere un alto grado de reglamentación y algunas veces estresa a la fuerza de trabajo. Por ejemplo, en el Sistema de producción Toyota los trabajadores deben cumplir los tiempos de ciclo especificados y con CEP deben seguir los métodos prescritos para solución de problemas. Estos sistemas pueden hacer que el trabajador se sienta presionado y estresado, ocasionando pérdidas de

Robert F. Bukaty/ASSOCIATED PRESS

Una trabajadora mueve una pila de zapatos deportivos parcialmente ensamblados de su estación de costura en la fábrica de New Balance en Skoehegan, Maine. Ella y otros cinco miembros de su equipo han desarrollado planes para que cada persona tenga capacitación en otras habilidades. Ideas similares para mejorar la competencia, que se discuten en las juntas quincenales con trabajadores y supervisores, han llevado a mejorar el desempeño en New Balance.

REPASO DE LAS METAS DE APRENDIZAJE

1. **Describir la manera en que los sistemas esbeltos pueden facilitar la mejora continua de los procesos.** Vea la sección de "Mejora continua usando un enfoque de sistema esbelto", pp. 277-278. Revise la figura 8.1 y la viñeta de apertura sobre Panasonic Corporation.
2. **Identificar las características y ventajas estratégicas de los sistemas esbeltos.** Vea la sección de "Consideraciones de la cadena de suministro en los sistemas esbeltos", pp. 278-279 y "Consideraciones de procesos en sistemas esbeltos", pp. 279-283. La sección de "Sistema de producción Toyota", pp. 284-285, ilustra la manera en que una empresa implementa características esbeltas para obtener una ventaja estratégica sobre la competencia.
3. **Comprender el mapeo de flujo de valor y su papel en la reducción de desperdicio**. La sección de "Mapeo de flujo de valor", pp. 287-290 muestra cómo construir mapas de flujo de valor e identificar el desperdicio en los procesos. Revise los detalles del mapeo y la creación de cajas de datos en el ejemplo 8.1.
4. **Comprender los sistemas *kanban* para crear un programa de producción en un sistema esbelto**. La sección "Sistema *kanban*", pp. 290-293 muestra la forma en que empresas como Toyota utilizan sistemas visuales sencillos para jalar la producción y fabrica justo los que el mercado demanda. El ejemplo 8.2 muestra cómo calcular el número de tarjetas *kanban* necesarias.
5. **Explicar los aspectos de la implementación asociados con la aplicación de sistemas esbeltos.** La sección "Beneficios operativos y aspectos de la implementación", pp. 293-295 revisa las consideraciones organizacionales y de procesos necesarias para poner en marcha con éxito un sistema esbelto y obtener sus beneficios.

MyOMLab le ayuda a desarrollar habilidades analíticas y a evaluar su avance con diversos problemas sobre tiempo de ciclo, ensamble de modelo mixto, mapeo de flujo de valor, número de contenedores, variable política α, demanda diaria satisfecha con un sistema dado y nivel de inventario autorizado.

Recursos de MyOMLab	Títulos	Vínculos con el libro
Videos	*Sistemas esbeltos en Autoliv*	Sistemas esbeltos en toda la organización; Consideraciones de procesos en sistemas esbeltos; Sistema *kanban*
	Edificios versátiles: sistemas esbeltos	Mejora continua con el enfoque de sistemas esbeltos; Consideraciones de procesos en sistemas esbeltos
Solvers de OM Explorer	Número de contenedores	Sistema *kanban*; ejemplo 8.2 (p. 292); problema resuelto 2 (p. 299)
Tutores de OM Explorer	8.1 Número de contenedores	Sistema *kanban*; ejemplo 8.2 (p. 292); problema resuelto 2 (p. 299)
Ejercicios de tutores	Número de contenedores en diferentes escenarios	Sistema *kanban*; ejemplo 8.2 (p. 292); problema resuelto 2 (p. 299)
Tours virtuales	Chasis personalizado de Workhorse Rieger Orgelbau Pipe Organ Factory	Diseño de distribuciones de sistemas esbeltos Inventario y programación
Ejercicio en internet	NUMMI, Yellow and Roadway (YRC)	Mejora continua con el enfoque de sistemas esbeltos
Ecuaciones clave		
Biblioteca de imágenes		

Ecuación clave

Número de contenedores:

$$\kappa = \frac{\bar{d}(\bar{\omega}+\bar{\rho})(1+\alpha)}{c}$$

Términos clave

célula de un trabajador, varias máquinas (UTVM) 285
cinco S (5S) 282
ensamble de modelo mixto 281
filosofía justo a tiempo (JIT) 277
heijunka 281
jidoka 280
kanban 290
lote 279
mapeo de flujo de valor 287
método de empujar 279
método de jalar 279
poka-yoke 280
preparación de un dígito 279
sistema JIT 277
sistemas esbeltos 276
tecnología de grupos 286
tiempo takt 281

Problema resuelto 1

Metcalf, Inc. fabrica soportes para ensamble de motores para dos clientes importantes de la industria automotriz. El proceso de manufactura para los soportes consiste en una célula que contiene una operación de formado, una de perforación, una de lijado-terminado y el empaque, después de lo cual los soportes se clasifican para envío. La información recolectada por el administrador de operaciones en Metcalf se muestra en la tabla 8.4.

TABLA 8.4 | DATOS DE LAS OPERACIONES PARA LOS SOPORTES EN METCALF, INC.

Atributos globales de procesos	**Demanda promedio: 2,700/día** **Tamaño de lote: 50** **Número de turnos por día: 2** **Disponibilidad: 8 horas por turno con 30 minutos de descanso**	
Paso 1 del proceso	Formado	Tiempo de ciclo = 11 segundos Tiempo de preparación = 3 minutos Tiempo de operación = 100% Operarios = 1 Trabajo en proceso = 4,000 unidades (antes de formado)
Paso 2 del proceso	Perforación	Tiempo de ciclo = 10 segundos Tiempo de preparación = 2 minutos Tiempo de operación = 90% Operarios = 1 Trabajo en proceso = 5,000 unidades (antes de perforar)
Paso 3 del proceso	Lijado	Tiempo de ciclo = 17 segundos Tiempo de preparación = 0 segundos Tiempo de operación = 100% Operarios = 1 Trabajo en proceso = 2,000 unidades (antes de lijado)
Paso 4 del proceso	Empaque	Tiempo de ciclo = 15 segundos Tiempo de preparación = 0 segundos Tiempo de operación = 100% Operarios = 1 Trabajo en proceso = 1,600 unidades (antes de empaque) Trabajo en proceso = 15,700 unidades (antes de envío)
Envío a los clientes	Un envío de 13,500 unidades cada semana	
Flujo de información	Todas las comunicaciones son electrónicas Existe una liberación de orden semanal para formado Todos los materiales se empujan	

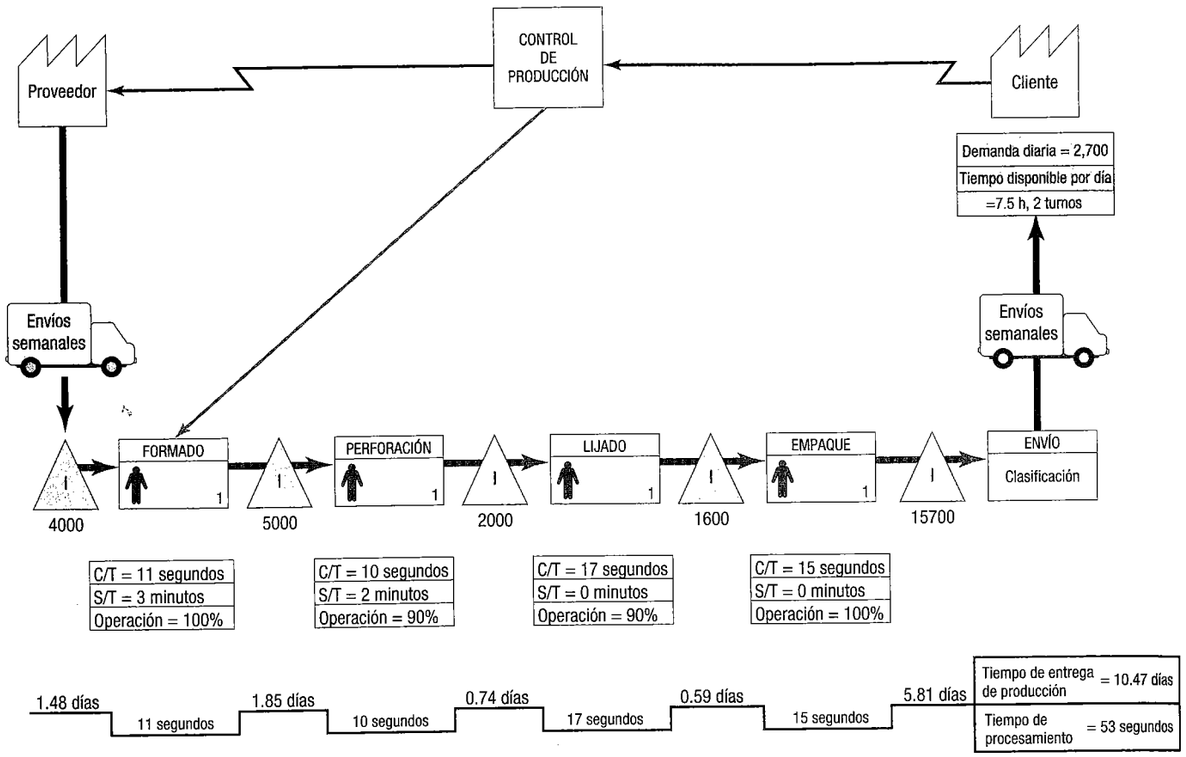
a) Utilice los datos mostrados en la tabla 8.4; cree un mapa de flujo de valor para Metcalf, Inc. y muestre cómo se calculan los valores de la caja de datos.
b) ¿Cuál es el tiempo takt para esta célula de manufactura?
c) ¿Cuál es el tiempo de entrega de producción en cada proceso de la célula de manufactura?
d) ¿Cuál es el tiempo de procesamiento total de esta célula de manufactura?
e) ¿Cuál es la capacidad de esta célula de manufactura?

SOLUCIÓN

a) La figura 8.11, en la siguiente página, muestra el mapa de estado de flujo de calor actual para Metcalf, Inc.
b) Demanda diaria = 2,700 unidades por día

Disponibilidad diaria = (7.5 horas por día) × (3,600 segundos por hora) × (2 turnos por día) = 54,000 segundos por día

Tiempo takt = disponibilidad diaria/demanda diaria = 54,000 segundos por día/2,700 piezas por día = 20 segundos por unidad



▲ **FIGURA 8.11**
Mapa de flujo de valor actual para Metcalf, Inc.

c) El tiempo de entrega de producción (en días) se calcula sumando el inventario (trabajo en proceso o WIP) que se tiene entre cada paso del proceso dividido entre la demanda diaria.

Tiempo de entrega de materiales = (4,700/2,700) = 1.48 días

Tiempo de entrega de WIP entre formado y perforación = [5,000/2,700] = 1.85 días

Tiempo de entrega de WIP entre perforación y lijado = [2,000/2,700] = 0.74 días

Tiempo de entrega de WIP entre lijado y empaque = [1,600/2,700] = 0.59 días

Tiempo de entrega de productos terminados antes de envío = [15,700/2,700] = 5.81 días

El tiempo de entrega de producción total de la célula es: 1.48 + 1.85 + 0.74 + 0.59 + 5.81 = 10.47 días

d) El tiempo de procesamiento total de la célula de manufactura es (11 + 10 + 17 + 15) = 53 segundos

e) La capacidad de la célula puede calcularse localizando el cuello de botella y calculando el número de unidades que este puede procesar en el tiempo disponible por día.

Capacidad de formado	**Capacidad de perforación**	**Capacidad de lijado**	**Capacidad de empaque**
Tiempo de ciclo = 11 segundos	Tiempo de ciclo = 10 segundos	Tiempo de ciclo = 17 segundos	Tiempo de ciclo = 15 segundos
Tiempo de preparación = (3 minutos*60 segundos por minuto)/50 unidades por lote = **3.6 segundos**	Tiempo de preparación = (2 minutos*60 segundos por minuto)/50 unidades por lote = **2.4 segundos**	Tiempo de preparación = **cero segundos**	Tiempo de preparación = **cero segundos**
Tiempo de procesamiento por unidad = (11 + 3.6) = **14.6 segundos**	Tiempo de procesamiento por unidad = (10 + 2.4) = **12.4 segundos**	Tiempo de procesamiento por unidad = (17 + 0) = **17.0 segundos**	Tiempo de procesamiento por unidad = (15 + 0) = **15.0 segundos**

Para tamaño de lote de 50 unidades, el proceso de lijado-terminado es el cuello de botella.

Disponibilidad en lijado = 54,000 segundos por día.

Tiempo en el cuello de botella (con preparación) = 17.0 segundos.

Capacidad (disponibilidad/tiempo en cuello de botella) = 54.000/17 = 3,176 unidades por día.

Problema resuelto 2

Una compañía que utiliza un sistema *kanban* tiene un grupo de máquinas ineficiente. Por ejemplo, la demanda diaria de la parte L105A es 3,000 unidades. El tiempo de espera promedio para un contenedor de partes es 0.8 días. El tiempo de procesamiento para un contenedor de L105A es 0.2 días y caben 270 unidades en un contenedor. En la actualidad se usan 20 contenedores para este artículo.

a) ¿Cuál es el valor de la variable política, α?

b) ¿Cuál es el inventario total planeado (trabajo en proceso y bienes terminados) para el artículo L105A?

c) Suponga que la variable política, α, era 0. ¿Cuántos contenedores serán necesarios ahora? ¿Cuál es el efecto de la variable política en este ejemplo?

SOLUCIÓN

a) Utilizamos la ecuación para el número de contenedores y luego despejamos:

$$K = \frac{\bar{d}(\bar{\omega}+\bar{p})(1+\alpha)}{c}$$

$$20 = \frac{3{,}000(0.8+0.2)(1+\alpha)}{270}$$

y

$$(1+\alpha) = \frac{20(270)}{3{,}000(0.8+0.2)} = 1.8$$

$$\alpha = 1.8 - 1 = 0.8$$

b) Con 20 contenedores en el sistema y cada contenedor con 270 unidades, el inventario total planeado es 20(270) = 5,400 unidades.

c) Si $\alpha = 0$

$$K = \frac{3{,}000(0.8+0.2)(1+0)}{270} = 11.11 \text{ o } 12 \text{ contenedores}$$

La variable política ajusta el número de contenedores. En este caso, la diferencia es bastante drástica porque $\bar{\omega}+\bar{p}$ es bastante grande y el número de unidades por contenedor es pequeño respecto a la demanda diaria.

Preguntas para análisis

1. Compare las siguientes dos situaciones:
   a) El sistema esbelto de una compañía recalca el trabajo en equipo. Los empleados se sienten más involucrados, por lo que la productividad y calidad aumentan en la compañía. El problema es que los trabajadores también experimentan una pérdida de autonomía individual.
   b) Un profesor de humanidades piensa que todos los estudiantes quieren aprender. Para fomentar que trabajen juntos y aprendan unos de otros —y aumente con ello la participación, productividad y calidad de la experiencia de aprendizaje— el profesor anuncia que todos los estudiantes en la clase recibirán la misma calificación y que estará basada en el desempeño del grupo.
2. ¿Cuál de los elementos de los sistemas esbeltos sería más complicado que implementaran las fábricas? ¿Por qué?
3. Enumere las presiones que presentan los sistemas esbeltos para la cadena de suministro, ya sea en la forma de fallas de procesos debidas a faltantes de inventarios o interrupciones de la mano de obra, etc. Reflexione cómo estas presiones se pueden aplicar a una empresa que de hecho está implementando la filosofía esbelta en sus operaciones.
4. Identifique un proceso de servicio o de manufactura con el que esté familiarizado y dibuje un mapa de flujo de valor de estado actual para describir su flujo existente de información y materiales.

Problemas

El OM Explorer y POM para Windows están disponibles para todos los estudiantes de la décima edición de este libro. Vaya a **www.pearsonhighered.com/krajewski** para bajar estos paquetes de computadora. Si compró MyOMLab, también tiene acceso al software de modelos activos y mucha ayuda para resolver los problemas siguientes. Verifique con su instructor la mejor manera de usar estos recursos. En muchos casos, el instructor le pedirá que comprenda cómo se hacen los cálculos a mano. Por lo menos, el software proporciona una verificación de sus cálculos. Cuando los cálculos son muy complejos y la meta es interpretar los resultados al tomar una decisión, el software sustituye por completo los cálculos manuales.

1. La Harvey Motorcycle Company produce tres modelos: Tiger, una motocicleta segura para terreno de tierra; LX2000, una moto ágil para correr y Golden, diseñada para viajar. El programa maestro de producción de este mes indica la producción de 54 Golden, 42 LX2000 y 30 Tiger por turno de siete horas.

   a) ¿Qué tiempo de ciclo promedio se requiere para que la línea de ensamble produzca esta cuota en siete horas?

   b) Si se utiliza la programación de modelo mixto, ¿cuántas de cada modelo se producirán antes de que el ciclo de producción se repita?

   c) Determine una secuencia de producción satisfactoria para la producción extrema de lote pequeño de una unidad.

   d) El diseño de un nuevo modelo, la Cheetah, incluye características de los modelos Tiger, LX2000 y Golden. El diseño mezclado que resulta tiene un carácter indeciso y se espera que atraiga algunas ventas de los otros modelos. Determine un programa de modelo mixto que dé como resultado 52 Golden, 39 LX2000, 26 Tiger y 13 Cheetah por turno de siete horas. Aunque el número total de motocicletas producidas por día aumentará solo un poco, ¿qué problema puede anticiparse al implementar este cambio en el programa de producción indicado en el inciso b)?

2. Una célula de fabricación en Spradley's Sprockets utiliza el método de jalar para suministrar engranes a una línea de ensamble. George Jitson está a cargo de la línea, que requiere 500 engranes por día. Los contenedores usualmente esperan 0.20 días en la célula de fabricación. Cada contenedor tiene 20 engranes y un contenedor requiere 1.8 días de tiempo de maquinado. Los tiempos de preparación son despreciables. Si la variable política para contingencias no previstas está fija en 5%, ¿cuántos contenedores debe Jitson autorizar para el sistema de abastecimientos de engranes?

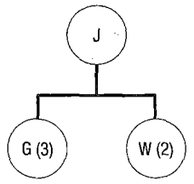
3. Se le pide que analice el sistema *kanban* de LeWin, un fabricante francés de dispositivos de juego. Una de las estaciones de trabajo que alimenta la línea de ensamble produce la parte M670N. La demanda diaria de M670N es 1,800 unidades. El tiempo promedio de procesado por unidad es 0.003 días. Los registros de LeWin muestran que el contenedor promedio pasa 1.05 días esperando en la estación de alimentación. El contenedor de M670N puede guardar 300 unidades. Se autorizan 12 contenedores para la parte. Recuerde que $\bar{p}$ es el tiempo de procesado promedio por contenedor, no por parte individual.

   a) Encuentre el valor de la variable política, α, que expresa la cantidad de inventario de seguridad implicada en este sistema.

   b) Utilice el valor implicado de α del inciso a) para determinar la reducción requerida en tiempo de espera si un contenedor se elimina. Suponga que todos los demás parámetros permanecen igual.

4. Una línea de ensamble requiere dos componentes: gadjits y widjits. Los gadjits se producen en el centro 1 y los widjits en el centro 2. Cada unidad del artículo terminado, llamada jit, requiere 3 gadjits y 2 widjits, como se muestra en la figura 8.12. La cuota de producción diaria en la línea de ensamble es 800 jits.

   El contendor para gadjits guarda 80 unidades. La variable política para el centro 1 se fijó en 0.09. El tiempo de espera promedio para un contenedor de gadjits es 0.09 días y se necesitan 0.06 días para producir un contenedor. El



◀ **FIGURA 8.12**
Componentes para el artículo final J

contenedor para widjits guarda 50 unidades y la variable política para el centro 2 es 0.08. El tiempo de espera promedio por contenedor de widgets es 0.14 días y el tiempo requerido para procesar un contenedor es 0.20 días.

   a) ¿Cuántos contenedores de gadjits se necesitan?

   b) ¿Cuántos contenedores de widjits se necesitan?

5. Gestalt, Inc. utiliza el sistema *kanban* en su instalación de producción de automóviles en Alemania. Esta instalación opera ocho horas por día para producir el Jitterbug, un reemplazo para el obsoleto pero inmensamente popular Jitterbug Beetle. Suponga que cierta parte requiere 150 segundos de maquinado en la célula 33B y un contenedor de partes tiene una espera promedio de 1.6 horas ahí. La administración permite 10% de inventario de seguridad para eventos inesperados. Cada contenedor guarda 30 partes y se autorizan 8 contenedores. ¿Cuánta demanda diaria puede satisfacer este sistema? (*Sugerencia*: recuerde que $\bar{p}$ es el tiempo de proceso por contenedor, no por parte individual).

6. Un supervisor de la oficina del Servicio Postal de Estados Unidos está buscando maneras de reducir la presión en el departamento de clasificación. Con el arreglo existente, las cartas pasan por la máquina que cancela estampillas y se cargan en tubos con 375 cartas cada uno. Luego, los tubos se empujan a los empleados que leen y teclean los códigos postales en una máquina de clasificación automática a una tasa de 1 tubo cada 375 segundos. Para vencer el estrés ocasionado a los trabajadores cuando la máquina de cancelación les gana el paso, se propone un sistema de jalar. Cuando los empleados están listos para procesar otro tubo de correo, jalarán el del área de máquina de cancelación. ¿Cuántos tubos deben circular entre los empleados de clasificación y la máquina si deben clasificar 90,000 cartas durante un turno de ocho horas? La variable política, α, es 0.18, y el tiempo de espera promedio más el tiempo de manejo de materiales es 25 minutos por tubo.

7. El programa de producción en Mazda establece que deben producirse 1,200 Mazdas durante cada uno de los 22 días de producción en enero y 900 Mazdas durante cada uno de los 20 días de producción en febrero. Mazda utiliza un sistema *kanban* para comunicarse con Gesundheit, un proveedor cercano de llantas, al cual Mazda le compra cuatro llantas por auto. La variable política, α, es 0.15. El tamaño del contenedor (un camión de reparto) es de 200 llantas. El tiempo promedio de espera más el tiempo de manejo de materiales es 0.16 días por contenedor. Las líneas de ensamble se rebalancean al principio de cada mes. El tiempo de proceso por contenedor en enero es 0.10 días. El tiempo de proceso en febrero tendrá un promedio de 0.125 días por contenedor. ¿Cuántos contenedores deben autorizarse para enero? ¿Y cuántos para febrero?

8. Jitsmart es un vendedor de figuras de acción de plástico de juguete. Las figuras de acción se compran a Tacky Toys y llegan en cajas de 48. Las cajas completas se almacenan en repisas altas fuera del alcance de los clientes. Se mantiene un pequeño inventario en una repisa a nivel de los niños. El agotamiento del inventario en la repisa baja advierte la necesidad de bajar una caja de figuras de acción para reabastecer el inventario. Una tarjeta de reorden se remueve de la caja y se envía a Tacky Toys para autorizar un suministro de un contenedor de figuras de acción. La tasa de demanda promedio de una figura de acción popular, el agente 99, es 36 unidades por día. El tiempo de entrega total (espera más proceso) es 11 días, la variable política de inventario de seguridad de Jitsmart, α, es 0.25. ¿Cuál es el nivel de inventario autorizado para Jitsmart?

9. Marklan First National Bank de Rolla utiliza las técnicas *kanban* en su instalación donde procesa los cheques. Se conoce lo siguiente sobre el proceso. Cada contenedor *kanban* puede tener 50 cheques, pasa 24 minutos al día en el procesamiento y 2 horas al día en manejo de materiales y esperas. Por último, la instalación opera 24 horas al día y utiliza una variable política para contingencias no previstas de 0.25.

   a) Si hay 20 contenedores *kanban* en uso, ¿cuál es la demanda diaria actual de la instalación para procesar cheques?

   b) Si *muda* o el desperdicio en el sistema se eliminara por completo, ¿cuántos contenedores se necesitarían?

Problemas avanzados

10. La compañía de tractores Farm-4-Less produce un tractor de grano combinado (GC) además de los de tamaño grande (LT) y pequeño (SM). Su administrador de producción desea fabricar de acuerdo con la demanda de los clientes usando un modelo mixto para la línea de producción. La secuencia de producción actual, que se repite 30 veces durante un turno es SM-GC-SM-LT-SM-GC-LT-SM. Se produce una nueva máquina cada dos minutos. La planta opera dos turnos de ocho horas. No hay tiempo de descomposturas porque las cuatro horas entre cada turno se dedican a mantenimiento y reabastecimiento de materias primas. Con base en esta información conteste las siguientes preguntas.

    a) ¿Cuánto tiempo tarda en completarse el ciclo de producción?

    b) ¿Cuántas máquinas de cada tipo produce Farm-4-Less en un turno?

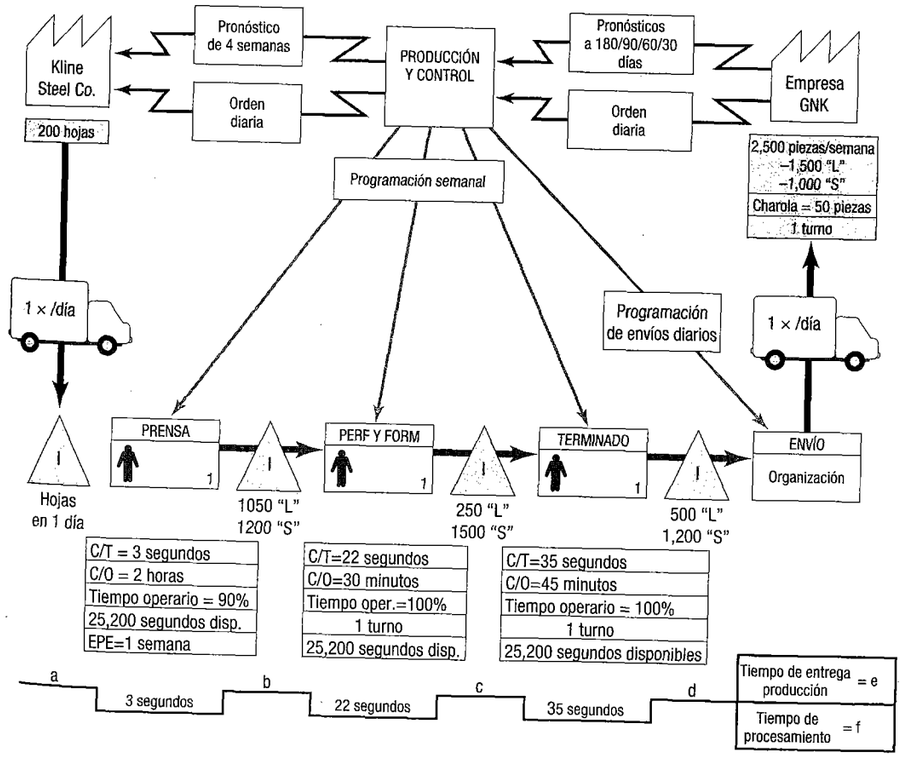
11. La figura 8.13 proporciona un mapa de estado actual del flujo de valor para la familia de retenedores de Jensen Bearings, empresa descrita en el ejemplo 8.1. Este mapa describe el flujo de valor después de que Kline Steel acepta órdenes diarias de hojas de acero y también acepta entregarlas diariamente.

    Calcule cada componente del nuevo tiempo de entrega reducido del flujo de valor.

    a) Ahora, la planta de Bearings guarda materia prima ¿para cuántos días?

    b) ¿Para cuántos días sirve el inventario de trabajo en proceso entre "prensa" y "perforación y formado"?

    c) ¿Para cuántos días sirve el inventario de trabajo en proceso entre "perforación y formado" y "lijado y terminado"?



◀ **FIGURA 8.13**
Mapa de estado actual para una familia de retenedores en Jensen Bearings

d) ¿Para cuántos días sirve el inventario de trabajo en proceso entre "lijado y terminado" y "envío"?

e) ¿Cuál es el nuevo tiempo de entrega de producción del flujo de valor?

f) ¿Cuál es el nuevo tiempo de procesado del flujo de valor?

12. El administrador de Ormonde, Inc. recolectó datos del mapeo de flujo de valor en la célula de manufactura, que fabrica partes para lavadoras, más problemática de la planta. Estos datos se muestran en la tabla 8.5. Con estos datos, calcule el desempeño del estado actual de la célula y conteste las siguientes preguntas.

a) ¿Cuál es el nivel de inventario actual de la célula?

b) ¿Cuál es el tiempo takt para esta célula de manufactura?

c) ¿Cuál es el tiempo de entrega de producción de cada proceso en la célula de manufactura?

d) ¿Cuál es el tiempo total de procesado para esta célula de manufactura?

e) ¿Cuál es la capacidad de esta célula de manufactura?

TABLA 8.5 | DATOS DE OPERACIÓN PARA ORMONDE, INC.

Atributos del proceso global	**Demanda promedio: 550/día** **Tamaño de lote: 20** **Turnos por día: 3** **Disponibilidad: 8 horas por turno con descanso de 45 minutos**	
Paso 1 del proceso	Corte	Tiempo de ciclo = 120 segundos Tiempo de preparación = 3 minutos Tiempo de operación = 100% Operarios = 1 WIP = 400 unidades (antes de corte)
Paso 2 del proceso	Doblado	Tiempo de ciclo = 250 segundos Tiempo de preparación = 5 minutos Tiempo de operación = 99% Operarios = 2 WIP = 500 unidades (antes de doblado)
Paso 3 del proceso	Taladrado	Tiempo de ciclo = 140 segundos Tiempo de preparación = ninguno Tiempo de operación = 100% Operarios = 1 WIP = 200 unidades (antes de corte) WIP= 1,000 unidades (después de corte)
Envío al cliente	Un envío de 2,750 unidades cada semana	
Flujo de información	Todas las comunicaciones son electrónicas Existe la liberación de una orden semanal para corte Todos los materiales se empujan	

CASO EN VIDEO Sistemas esbeltos en Autoliv

Autoliv es un ejemplo de clase mundial de manufactura esbelta. Esta compañía en la revista Fortune 500 hace componentes de seguridad para automóviles, como cinturones de seguridad, bolsas de aire y volantes; tiene más de 80 plantas en más de 32 países. Sus ingresos en 2007 fueron de más de $6.7 mil millones. El entorno de manufactura esbelta de Autoliv, llamado Sistema de Producción Autoliv (SPA), se basa en los principios de manufactura esbelta establecidos por Toyota, uno de los fabricantes de automóviles más grandes del mundo, y plasmado en su Sistema de Producción Toyota (SPT).

En el corazón de Autoliv hay un sistema que se centra en la mejora continua. Con base en la "Casa de Toyota", la planta del módulo de bolsas de aire de Autoliv, en Ogden, Utah, pone en práctica los conceptos expuestos en dicho sistema todos los días. La única diferencia entre la casa de Toyota y la de Autoliv es que la compañía agregó un tercer pilar que representa la participación del empleado en todos los procesos debido a que una cultura de participación, siendo una norma en Japón, no siempre se encuentra en Estados Unidos.

Autoliv inició su jornada esbelta desde 1995. En ese tiempo, la planta de Ogden trabajaba a toda la capacidad de manufactura con 22 células de trabajo. Los administradores de la compañía reconocen que, entonces, Autoliv estaba "descompuesta" y necesitaba un cambio significativo e inmediato si habría de sobrevivir. Esto significaba que cada uno —desde la alta administración hasta los empleados y proveedores— debía subirse al barco en la reconstrucción de la compañía. No se trataba de que la compañía no pudiera satisfacer las necesidades de sus clientes fabricantes de vehículos, lo que ocurría era que con una demanda creciente de suministros confiables y efectivos en costos, la presión de cambio era evidente. Al reconocer el valor del enfoque de Toyota, la alta administración se comprometió a embarcarse en su propia jornada para traer la cultura transformadora de la manufactura esbelta a Autoliv.

En 1998, *sensei* Takashi Harada llegó de Japón para pasar tres años enseñando a los altos administradores de la compañía los principios, técnicas y cultura del sistema esbelto. Esto ayudó a la administración a crear un entorno en el que la mejora continua podía promoverse y adoptarse como una actividad para el éxito a largo plazo. Debido a que el entorno cambiaba, al principio fue difícil para los proveedores satisfacer a Autoliv en sus cambios constantes y sus procesos inestables. También ocasionó problemas visibles y forzó a la compañía a atacar y resolver los problemas en lugar de encontrar la manera de darles la vuelta como se hacía en el pasado. Se crearon auditorías diarias, capacitación mensual y programas educativos más profundos para ayudar a centrar la atención en los cambios necesarios que se llevarían a cabo. Los trabajadores y la administración se organizaron en equipos que eran responsables de metas comunes y tenían la tarea de trabajar hacia el éxito común.

Para 2004, la cultura esbelta estaba integrada en la compañía y ahora es anfitrión de visitas regulares de otras corporaciones que desean aprender de las experiencias y la jornada de Autoliv. Comparado con 1995, el espacio requerido para una célula típica se ha reducido 88.5%, mientras que el número de células ha crecido 400%. Esto ha permitido a Autoliv incrementos drásticos en la capacidad de producción con una inversión mínima.

Los conceptos esbeltos tienen un papel todos los días en cada planta. Por ejemplo, todos se reúnen al inicio del día de trabajo para hacer estiramientos y relajación, y una junta breve; esto es parte del pilar de participación del empleado en la casa del SPA. Luego los trabajadores se dirigen a 104 células de trabajo en la planta. Los miembros del equipo *heijunka* reparten tarjetas *heijunka* a cada célula para comunicarles el trabajo que harán. Los tamaños de lote pueden variar con cada tarjeta entregada a la célula. Todo lo que los trabajadores necesitan para fabricar el lote está en la célula y se reabastece con regularidad mediante el sistema de tarjetas *kanban*. Cada 24 minutos llega otra tarjeta *heijunka* a la célula para indicar a los trabajadores lo que construirán después. Esto es parte del pilar JIT de la casa.

Como la cultura de mejora continua requiere que los empleados en todos los niveles sean responsables de la calidad, un trabajador puede identificar una "condición anormal" al realizar su trabajo, por lo que hace más lento el trabajo de la célula o lo detienen por completo. Esto se representa por el pilar del lado derecho de la casa de Toyota, *jidoka*, que Autoliv interpreta como "detente y arregla". Sin embargo, esto ocurre rara vez, ya que se espera que tanto Autoliv como sus proveedores entreguen productos sin defectos. Cuando un proveedor es nuevo o tiene problemas de calidad, el proveedor para la inspección en el muelle de recepción de Autoliv para todas las entregas futuras. De esta manera, los trabajadores en las células saben que pueden confiar en la integridad de las materias primas que llegan por el sistema *kanban* para ensamble. *Jidoka* también puede ocurrir cuando una máquina no opera bien o un empleado observa que un proceso se ha desviado del estándar. Cuando los trabajadores "detienen y arreglan" un problema en el punto de su creación, ahorran a la compañía el costo adicional al igual que la pérdida de confianza a los ojos del cliente.

Pearson

Empleado de Autoliv doblando una bolsa de aire en una célula de producción inspirada en Toyota.

Para ayudar a enfocar los esfuerzos diarios del trabajador, Autoliv tiene una "pared de comunicaciones" que todos ven cuando se dirigen a sus sitios de trabajo. La pared contiene el "despliegue de políticas", que consiste en las metas de toda la compañía para la satisfacción del cliente, el desempeño de finanzas/accionistas y la seguridad y la calidad. El despliegue de políticas comienza con las metas de la compañía que luego fluyen hacia abajo a nivel de la planta mediante las metas, estrategias y acciones del gerente de planta para la instalación. Estas actividades ligadas aseguran que Autoliv logre sus metas. Al comunicar esta información —y más— de manera visual, se apoya al pilar central de la casa de SPA. Otras comunicaciones visuales y métodos administrativos también quedan en su lugar. Por ejemplo, cada célula tiene una pancarta en la que cada mes establece cómo está trabajando la célula en las áreas de seguridad, calidad, participación de los empleados, costo y entrega; las cuales están integradas en el despliegue de políticas mostrado en la pared de comunicaciones.

Otro método de comunicación visual es utilizar un "riel" para la administración de tarjetas *heijunka* en cada célula. El riel tiene secciones de códigos de color. Conforme se entrega cada tarjeta, hace que un color se deslice por el riel hacia el equipo. En la célula más cercana, el riel es verde, indicando que cualesquiera tarjetas que caigan en esa área se pueden completar dentro de las horas de trabajo normales. La parte media del riel es amarilla, que indica horas extra para esa célula ese día. El final es rojo, que significa que se requieren horas extra en el fin de semana para recuperar el trabajo y poner la célula en armonía con la demanda del cliente. Cuando se desliza una tarjeta *heijunka* por el riel, se detiene cuando llega al final o se queda detrás de otra tarjeta. Si la célula no trabaja al paso requerido para cumplir la demanda del cliente, las tarjetas se amontonan en el riel y proporcionan una señal muy visible de que la célula no está cumpliendo las expectativas. Esto da una oportunidad para que los miembros del equipo y de la administración tomen

medidas inmediatas para prevenir el tiempo extra requerido si la situación no se remedia.

Todos los pasillos y caminos que rodean a la célula deben estar libres de materiales, escombros y otros artículos. Si algo aparece en esas áreas, todos pueden ver la anormalidad. Al trabajar juntos, los miembros del equipo terminan el trabajo del día y los resultados de sus esfuerzos se despliegan abiertamente en el "cubo comunicador" de cada célula. Este exhibidor de cuatro lados rotatorio cuenta la historia de la productividad, calidad y desempeño 5S de la célula. El cubo también contiene una sección especial para la administración de sugerencias *kaizen* para el propio equipo. Estas *kaizen* permiten al equipo mejorar de manera continua el entorno de trabajo, lo mismo que impulsar el logro de los resultados.

La jornada esbelta de Autoliv, plasmada en el Sistema de Producción Autoliv, ha llevado a numerosos premios y logro de sus metas desplegadas en sus políticas. Los productos defectuosos han tenido una reducción drástica, los niveles de inventario son más bajos y la rotación de inventario se acerca a los niveles de 50 de clase mundial. La rotación de personal es cercana a 5% y permanece muy por debajo de otros fabricantes de la industria. Pero no han llegado a su destino. La compañía continúa su énfasis en promover la mejora sistemática para evitar la complacencia y la pérdida de la ventaja competitiva. Las mejores prácticas desde las fuentes, más allá del área inmediata de la organización, se estudian e integran. Encontrar maneras de atraer y compensar a la fuerza de trabajo de Autoliv en un mercado que madura es crítico. Las sugerencias *kaizen* en los años más recientes en la planta de Ogden han llegado a 74,000 o cerca de 60 por empleado, lo que indica que la cultura de mejora continua en la casa del SPA de Autoliv está viva.

PREGUNTAS

1. ¿Por qué el enfoque de administración visual forma parte integral del sistema esbelto de Autoliv?
2. Describa las consideraciones JIT presentadas en el capítulo en lo que se refiere a su relación con el entorno de manufactura de Autoliv.
3. ¿Qué método de flujo de trabajo está representado en el sistema de Autoliv? ¿Por qué este enfoque es más adecuado a su entorno esbelto?
4. Cuando Autoliv inició su jornada esbelta tenían que abordarse varios aspectos de beneficios e implementación. ¿Cuáles eran y cómo se abordaron?

CASO Copper Kettle Catering

Copper Kettle Catering (CKC) es una compañía con servicio completo de comidas que atiende desde cajas de comida para días de campo o para juntas hasta grandes bodas, cenas o fiestas de oficina. Establecida como un servicio de entrega de almuerzos para oficinas en 1972 por Wayne y Janet Williams, CKC ha crecido hasta ser uno de los negocios más grandes en su ramo en Raleigh, Carolina del Norte. Los Williams dividen la demanda de los clientes en dos categorías: *solo entrega* y *entrega y servicio*.

El lado de solo entrega del negocio reparte comidas en cajas que consisten en un sándwich, ensalada, postre y fruta. El menú para este servicio está limitado a una selección de seis sándwiches, tres ensaladas o papas fritas y un brownie (cuadrito de pan de chocolate) o barra de frutas. Se incluyen uvas y una rebanada de naranja con cada comida y se puede ordenar té helado para acompañarla. El nivel global de demanda para este servicio durante el año es bastante constante, aunque la mezcla entregada de artículos en el menú varíe. El horizonte de planeación para este segmento del negocio es corto: los clientes suelen llamar con más de un día de anticipación. CKC requiere que los clientes del servicio de solo entrega ordenen antes de las 10 a.m. para garantizar la entrega el mismo día.

El lado de entrega y servicio del negocio se enfoca en comida para grandes eventos como fiestas, cenas y bodas. El extenso rango de artículos en el menú incluye una selección de bocadillo, entradas y platillos especiales. La demanda de estos servicios es mucho más estacional, con demanda mayor al final de la primavera y principios del verano para bodas y al final del otoño y principios del invierno para fiestas. Sin embargo, este segmento también tiene un horizonte de planeación más largo. Los clientes registran sus fechas y eligen el menú semanas o meses antes.

Las instalaciones de preparación de comida de CKC apoyan ambas operaciones. La distribución de las instalaciones físicas se parece a la de un proceso por pedidos. Cinco áreas de trabajo principales consisten en un área de estufa-horno para la preparación de comida caliente, un área fría para la preparación de ensaladas, un área de preparación de bocadillos, un área de preparación de sándwiches y un área de ensamble donde las órdenes de solo entrega se empacan y las órdenes de entrega y servicio se ensamblan en charolas. Tres cuartos enfriadores almacenan los alimentos que requieren refrigeración y una despensa que guarda los bienes no perecederos. Las limitaciones de espacio y el riesgo de deterioro limitan la cantidad de materias primas y alimentos preparados que se pueden tener en inventario en cualquier momento. CKC compra los postres de vendedores externos. Algunos entregan los postres a CKC, otros requieren que CKC envíe a alguien a recogerlos en sus instalaciones.

La programación de órdenes es un proceso de dos etapas. Cada lunes, los Williams desarrollan un programa de órdenes de entrega y servicio para ser procesado cada día. CKC suele tener múltiples órdenes de entrega y servicio cada día de la semana. Este nivel de demanda permite cierta eficiencia en la preparación de múltiples órdenes. Las órdenes de solo entrega se programan día a día, debido al corto tiempo de entrega de las órdenes. CKC algunas veces se queda sin ingredientes para los artículos del menú de solo entrega por el limitado espacio de almacén.

Wayne y Janet Williams tienen 10 empleados de tiempo completo; cocineros y ocho trabajadores que preparan comida, que también trabajan como meseros para las órdenes de entrega y servicio. El puesto de cocinero es especializado y requiere un alto grado de capacitación y habilidades. El resto de los empleados son flexibles y se mueven entre las tareas según se necesite.

El entorno de negocios para la preparación de alimentos es competitivo. Las prioridades competitivas son comida de alta calidad, confiabilidad en la entrega, flexibilidad y costo, en ese orden. "La calidad de la comida y su preparación es fundamental" establece Wayne Williams. "La preparación de alimentos con baja calidad no se queda en el negocio". La calidad se mide por la frescura y el sabor. La confiabilidad en la entrega abarca tanto el tiempo de entrega como el tiempo requerido para responder a las órdenes del cliente. La flexibilidad se centra en el rango de las peticiones de comida que una compañía puede satisfacer y la variedad del menú.

Recientemente, CKC comenzó a notar que los clientes demandan más flexibilidad en el menú y tiempos de respuesta más rápidos. Los pequeños proveedores de comidas que entraron al mercado se dirigen a segmentos específicos bien definidos. Un ejemplo es un pequeño proveedor llamado Lunches-R-Us, que abrió una instalación a la mitad de un complejo grande de oficinas para servir el almuerzo y compite en costo con CKC.

Wayne y Janet Williams están impresionados por el concepto de sistema esbelto, en especial las ideas relacionadas con el incremento en la flexibilidad, reduciendo los tiempos de entrega y bajando los costos. Se parece a lo que CKC necesita para seguir siendo competitiva. No obstante, los Williams se preguntan si los conceptos y las prácticas esbeltas son transferibles para un negocio de servicios.

PREGUNTAS

1. ¿Son las operaciones de Copper Kettle Catering conducentes a la aplicación de los conceptos y prácticas esbeltas? Explique.
2. ¿Cuáles son, si las hay, las barreras principales para implementar un sistema esbelto en CKC?
3. ¿Qué recomendaría a Wayne y Janet Williams para aprovechar los conceptos esbeltos en la operación de CKC?

Fuente: este caso fue preparado por Dr. Brooke Saladin, de Wake Forest University, como base para una discusión en clase. Copyright © Brooke Saladin. Usado con permiso.

Referencias seleccionadas

Ansberry, Clare. "Hurry-Up Inventory Method Hurts Where It Once Helped". *Wall Street Journal Online* (25 de junio, 2002).

Holweg, Matthias. "The Genealogy of Lean Production". *Journal of Operations Management*, vol. 25 (2007), pp. 420-437.

Klein, J. A. "The Human Costs of Manufacturing Reform". *Harvard Business Review* (marzo-abril, 1989), pp. 60-66.

Manufacturing Engineering Web site, www.mfgeng.com/5S.htm.

Mascitelli, Ron. "Lean Thinking: It's About Efficient Value Creation". *Target*, vol. 16, núm. 2 (segundo trimestre, 2000), pp. 22-26.

McBride, David. "Toyota and Total Productive Maintenance". http://www.emsstrategies.com/dm050104article2.html; mayo, 2004.

Millstein, Mitchell. "How to Make Your MRP System Flow". *APICS–The Performance Advantage* (julio, 2000), pp. 47-49.

Rother, Mike y John Shook. *Learning to See*. Brookline, MA: The Lean Enterprise Institute, 2003.

Schaller, Jeff. "A 'Just Do It Now' Philosophy Rapidly Creates a Lean Culture, Produces Dramatic Results at Novametix Medical Systems". *Target*, vol. 18, núm. 2 (segundo trimestre, 2002), pp. 48-54.

Schonberger, Richard J. "Japanese Production Management: An Evolution–With Mixed Success". *Journal of Operations Management*, vol. 25 (2007), pp. 403-419.

Shah, Rachna y Peter T. Ward. "Defining and Developing Measures of Lean Production". *Journal of Operations Management*, vol. 25 (2007), pp. 785-805.

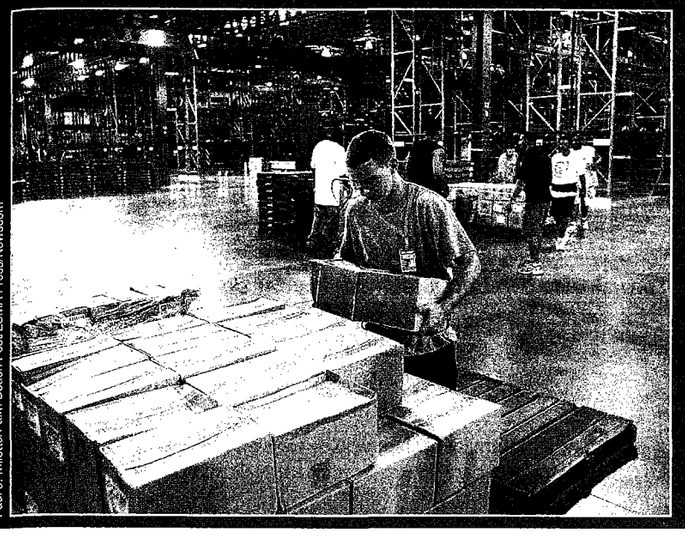
Spear, Steven y H. Kent Bowen. "Decoding the DNA of the Toyota Production System". Harvard Business Review (septiembre-octubre, 1999), pp. 97-106.

Spear, Steven J. "Learning to Lead at Toyota". *Harvard Business Review* (mayo, 2004), pp. 78-86.

Stewart, Douglas M. y John R. Grout. "The Human Side of Mistake Proofing". *Production and Operations Management*, vol. 10, núm. 4 (invierno, 2001), pp. 440-459.

Tonkin, Lea. "System Sensor's Lean Journey". *Target*, vol. 18, núm. 2 (segundo trimestre, 2002), pp. 44-47.

Womack, James P. y Daniel T. Jones. "Lean Consumption". *Harvard Business Review* (marzo, 2005) pp. 1-12.



Paul J. Milette/Palm Beach Post/ZUMA Press/Newscom

9

ADMINISTRACIÓN DEL INVENTARIO DE LA CADENA DE SUMINISTRO

Un empleado apila un envío de alimentos para mascotas en un nuevo centro de distribución de Walmart en Fort Pierce, Florida. La instalación de 1.2 millones de pies cuadrados servirá a 45 tiendas Walmart en la costa este de Florida.

Administración de inventario en Walmart

¿Busca navajas para la rasuradora, una impresora, artículos de primeros auxilios, comida para perro, fijador para el cabello? Si es así, usted espera que la tienda a la que acostumbra ir tenga lo que quiere. Sin embargo, asegurarse de que los anaqueles estén surtidos con decenas de miles de productos no es una tarea sencilla para los administradores del inventario en Walmart, que tiene 8,800 tiendas Walmart y Sam's Club en 15 mercados, emplea a más de 2 millones de asociados, sirve a 200 millones de clientes por semana en todo el mundo y utiliza 100,000 proveedores. Como puede imaginarse, en una operación tan grande algunas cosas se pierden. Linda Dillman, entonces jefe de inventarios en Walmart, cuenta la historia del fijador para cabello perdido en una de las tiendas. El anaquel debía llenarse con un fijador para cabello específico, pero tomó tres días encontrar la caja en el almacén de atrás. La mayor parte de los clientes cambiaron su fijador y Walmart perdió tres días de ventas de ese producto.

Saber qué hay en el almacén, qué cantidad y dónde se guardó es crucial para la administración efectiva del inventario. Sin información precisa de este, las compañías suelen cometer errores importantes ordenando demasiado, muy poco o enviando productos al lugar equivocado. Las compañías pueden tener grandes inventarios y todavía tener faltantes de productos porque tienen demasiado de algunos productos e insuficiente de otros. Walmart, una compañía de $405 mil millones con inventarios en exceso por $33 mil millones, sin duda está consciente de los beneficios potenciales de mejorar el manejo del inventario, por lo que todo el tiempo experimenta tres maneras de reducir la inversión en este. Saber cuándo resurtir los artículos en inventario y cuánto ordenar cada vez es crucial cuando se maneja una inversión tan grande en inventario. La aplicación

administración de inventario
Planeación y control de inventarios con el fin de cumplir las prioridades competitivas de la organización.

tamaño de lote
Cantidad de un artículo en inventario que la administración compra a un proveedor o una fábrica, utilizando un proceso interno.

de tecnología también es importante, como utilizar la identificación por frecuencia de radio (RFID) para rastrear los envíos de inventario y los niveles en las tiendas y almacenes en toda la cadena de suministro. Un lector portátil de RFID pudo haber encontrado el fijador de cabello perdido en unos cuantos minutos.

Fuente: Laurie Sullivan, "Walmart's Way", Informationweek.com (27 de septiembre, 2004), pp. 36-50; Gus Whitcomb y Christi Gallagher, "Walmart Begins Roll-Out of Electronic Product Codes in Dallas/Fort Worth Area", **www.walmartstores.com** (febrero, 2011) y Walmart 2010 Annual Report.

METAS DE APRENDIZAJE *Después de estudiar este capítulo, usted será capaz de:*

1. Identificar las ventajas, desventajas y los costos de mantener un inventario.
2. Definir los tipos de inventarios y el papel que tienen en las cadenas de suministro.
3. Explicar las tácticas básicas para reducir inventarios en las cadenas de suministro.
4. Determinar los artículos que merecen más atención y control de inventario más estricto.
5. Calcular el lote económico y aplicarlo a varias situaciones.
6. Determinar el lote económico y el punto de reorden para un sistema de control de inventarios de revisión continua.
7. Determinar el intervalo de revisión y el nivel de inventario meta para un sistema de control de inventarios de revisión periódica.
8. Definir los factores clave que determinan la elección apropiada de un sistema de inventarios.

Creación de valor mediante la administración de operaciones

Utilización de las operaciones para competir
Administración de proyectos

Administración de procesos

Estrategia de procesos
Análisis de procesos
Calidad y desempeño
Planeación de la capacidad
Administración de restricciones
Sistemas esbeltos

Administración de *la cadena de suministro*

Administración de inventarios en la cadena de suministro
Diseño de la cadena de suministro
Decisiones de localización de la cadena de suministro
Integración de la cadena de suministro
Sustentabilidad de la cadena de suministro y logística humanitaria
Pronósticos
Planeación y programación de las operaciones
Planeación de recursos

La administración de inventarios, la planeación y el control de los inventarios con el fin de cumplir con las prioridades competitivas de la organización, es una preocupación importante para los administradores en todos los tipos de negocios. La administración efectiva del inventario es esencial para realizar el potencial completo de cualquier cadena de suministro. El reto es no recortar los inventarios hasta lo *mínimo* para reducir los costos o tener tantos productos almacenados para satisfacer todas las demandas, sino tener la cantidad correcta para alcanzar las prioridades competitivas del negocio de la manera más eficiente. Este tipo de eficiencia solo puede ocurrir si la cantidad correcta de inventario fluye por la cadena de suministro —proveedores, empresa, almacenes o centros de distribución y clientes—. Estas decisiones fueron tan importantes para Walmart que decidió utilizar RFID para mejorar los flujos de información en la cadena de suministro. Gran parte de la administración de inventarios implica *determinar el tamaño del lote,* que incluye la frecuencia y la cantidad que debe ordenarse para el inventario. Nos referimos ampliamente al término **tamaño de lote,** que es la cantidad de un artículo en inventario que la administración compra a un proveedor o fabrica mediante un proceso interno. En este capítulo nos enfocamos en la toma de decisiones sobre el manejo del inventario Comenzamos con un panorama general de la importancia de la administración del inventario para la organización y cómo elegir los artículos que merecen mayor atención de la administración. Luego introducimos las bases de la toma de decisiones para el inventario explorando la cantidad del lote económico y cómo se utiliza para balancear los costos de mantener el inventario con los costos de ordenar. Un segmento importante del capítulo se dedica a los sistemas de control de inventarios para la venta al menudeo y la distribución y cómo utilizarlos.

Administración de inventarios en toda la organización

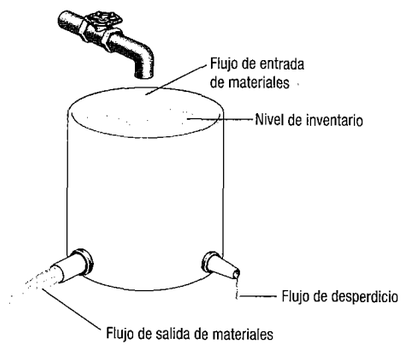
Los inventarios son importantes para todo tipo de organizaciones, sus empleados y su cadena de suministro. Los inventarios afectan profundamente las operaciones diarias porque deben contarse, pagarse, utilizarse en las operaciones, usarse para satisfacer al cliente y administrarse. Los inventarios requieren una inversión de fondos, igual que la compra de una nueva máquina. El dinero invertido en inventarios no está disponible para invertirlo en otras cosas; así, representan un consumo de los flujos de efectivo de una organización. De cualquier forma, las compañías se dan cuenta de que la disponibilidad de los productos es clave para el punto de venta en muchos mercados.

Entonces, ¿es el inventario un beneficio o una pesadilla? Sin duda, demasiado inventario reduce la rentabilidad y muy poco inventario crea faltantes en la cadena de suministros y al final daña la confianza del cliente. Por lo tanto, la administración de inventarios implica un equilibrio de costos. Descubriremos cómo pueden las compañías manejar sus inventarios con efectividad en toda la organización.

El inventario y las cadenas de suministro

El valor de administrar el inventario se vuelve evidente cuando se reconoce la complejidad de la cadena de suministro. El desempeño de numerosos proveedores determina el flujo hacia adentro de los materiales y servicios de una empresa. El desempeño de una empresa determina el flujo hacia afuera de los servicios o productos a la siguiente etapa de la cadena de suministro. Sin embargo, el flujo de materiales determina los niveles de inventarios. **Inventario** es una provisión de materiales utilizados para satisfacer la demanda del cliente o para apoyar la producción de bienes y servicios. La figura 9.1 muestra la manera en que los inventarios se crean en un nodo de una cadena de suministro presentando una analogía con un tanque de agua. El flujo de agua que llega al tanque eleva el nivel del agua. El flujo de agua hacia adentro representa la entrada de materiales, como acero, partes, suministros de oficina o un producto terminado. El nivel del agua representa la cantidad de inventario que se tiene en una planta, instalación de servicio, almacén o tienda. El flujo hacia afuera del tanque baja el nivel del agua en él. El flujo de agua hacia afuera representa la demanda de los materiales en inventario, como órdenes de clientes para una bicicleta Huffy o los requerimientos de suministros para un servicio como jabón, comida o mobiliario. La tasa del flujo de salida también refleja la capacidad de la empresa para igualar la demanda de servicios o productos. Otro flujo posible hacia afuera es el de desperdicio, que también baja el nivel del inventario utilizable. Juntas, la diferencia entre la tasa de flujo de entrada y la tasa de flujo de salida determinan el nivel del inventario. Los inventarios suben cuando entra más material del que sale; bajan cuando sale más material del que entra. La figura 9.1 también muestra con claridad por qué las empresas utilizan Six Sigma o administración total de la calidad (TQM) para reducir los materiales defectuosos: cuanto más grande sea el flujo de desperdicio, mayor será el flujo de entrada de materiales requerido para un nivel determinado de producción.

inventario
Reserva de materiales que se utilizan para satisfacer la demanda del cliente o para apoyar la producción de bienes y servicios.



▲ **FIGURA 9.1**
Creación del inventario

Una pregunta fundamental en la cadena de suministro es cuánto inventario tener. La respuesta incluye el equilibrio entre las ventajas y desventajas de mantener el inventario. Dependiendo de la situación, las presiones de tener inventarios pequeños pueden exceder o no las presiones de tener inventarios grandes.

Presiones para los inventarios pequeños

El trabajo de un administrador de inventarios es equilibrar las ventajas y desventajas de ambos tipos de inventario, pequeños y grandes, para encontrar un punto adecuado entre los dos niveles. La razón principal para mantener inventarios pequeños es que el inventario representa una inversión monetaria temporal. Como tal, la empresa incurre en un costo de oportunidad, que llamamos el costo de capital, que surge del dinero comprometido en inventario que podría haberse utilizado para otros propósitos. **El costo de mantener el inventario** (o *costo de mantener*) es la suma del costo de capital más los costos variables de tener artículos disponibles, como costos de almacén y manejo, impuestos, seguros y costos de mermas. Cuando estos componentes cambian con los niveles de inventario, también lo hace el costo de mantener.

Las compañías suelen establecer el costo de mantener un artículo por periodo como un porcentaje de su valor. El costo anual de mantener una unidad en inventario normalmente va de 15 a 35% de su valor. Suponga que el costo de mantener una empresa es 20%. Si el valor promedio del inventario total es 20% de las ventas, el costo promedio de mantener inventario es 4% [0.20(0.20)] del total de ventas. Este costo es considerable en términos de márgenes de ganancias brutas, que con frecuencia son menos de 10%. Entonces, los componentes del costo de mantener crean presión para que los inventarios sean pequeños.

costo de mantener el inventario
Suma del costo de capital y los costos variables de mantener artículos disponibles, como almacén y manejo, impuestos, seguro y mermas.

Costo de capital El costo de capital es el costo de oportunidad de invertir en un activo respecto del retorno esperado sobre activos de riesgo similar. El inventario es un activo; en consecuencia, debemos utilizar una medida de costo que refleje de manera adecuada el enfoque de la empresa para los activos financieros. La mayor parte de las empresas utilizan el *promedio ponderado del costo de capital* (*PPCC*), que es el retorno requerido promedio sobre las acciones y la tasa de interés sobre su deuda, ponderado por la proporción de capital neto y deuda en su portafolio. El costo de capital, en general, es la componente más grande del costo de mantener, tan alto como 15% del valor del inventario, dependiendo del portafolio de capitalización particular de la empresa. Es típico que las empresas actualicen el PPCC cada año, porque se usa para tomar decisiones financieras.

Costos de almacén y manejo Los inventarios necesitan espacio y deben moverse dentro y fuera del almacén. Se incurriría en costos de almacenar y manejar cuando una empresa renta espacio a largo o corto plazo. Se incurre en un costo de mantener inventario cuando una empresa utiliza espacio de almacén de manera productiva en alguna otra forma.

Impuestos, seguros y mermas Se pagan más impuestos si los inventarios al final del año son altos y el costo de asegurar los inventarios también aumenta. Las mermas toman tres formas. La primera es el *hurto* o robo de inventario por los clientes o empleados, es un porcentaje significativo de las

ventas para algunos negocios. La segunda forma de merma, llamada *obsolescencia,* ocurre cuando el inventario no puede venderse por su valor completo debido a cambios de modelo, modificaciones de ingeniería o demanda inesperadamente baja. La obsolescencia es un gasto grande en la industria de venta de ropa. Con frecuencia deben ofrecerse descuentos drásticos en la ropa de temporada al final de la misma. Por último, el *deterioro* a través de la descomposición física o el daño debido a manejo pesado o excesivo da como resultado la pérdida del valor. Los alimentos y las bebidas, por ejemplo, pierden valor e incluso tienen que descartarse cuando agotan su vida en anaqueles. Cuando la tasa de deterioro es alta, tener grandes inventarios suele ser un error.

Presiones sobre inventarios grandes

Dado el costo de mantener inventario, ¿por qué no eliminarlos por completo? Veamos brevemente las presiones relacionadas con mantener grandes inventarios.

faltante
Una orden que no se puede satisfacer, el resultado es la pérdida de la venta.

orden atrasada *(backorder)*
Orden de un cliente que no se puede satisfacer cuando se promete o demanda, pero que se satisface más tarde.

costo de ordenar
Costo de preparar una orden de compra para un proveedor o una orden de producción para un fabricante.

costo de preparación
Costo implicado en el cambio de una máquina o espacio de trabajo para producir un artículo diferente.

descuentos por cantidad
Baja en el precio por unidad cuando una orden es suficientemente grande.

materias primas (MP)
Inventarios necesarios para la producción de bienes y servicios.

Servicio al cliente Crear un inventario puede acelerar y mejorar la entrega a tiempo de los bienes de una empresa. Los niveles altos de inventario reducen el potencial de faltantes y órdenes atrasadas, que son una preocupación importante para la venta al mayoreo y menudeo. Un **faltante** es una orden que no se logra satisfacer, con el resultado de una venta perdida. **Una orden atrasada** es una orden de un cliente que no se pudo satisfacer cuando se prometió o se pidió, pero se satisface más tarde. Los clientes no quieren esperar para que sus órdenes lleguen atrasadas. Muchos de ellos se irán a otra parte. Algunas veces, los clientes reciben descuentos por el inconveniente de esperar.

Costo de ordenar Cada vez que una empresa coloca una orden, incurre en un **costo de ordenar** o un costo de preparar una orden de compra para un proveedor o una orden de producción para un fabricante. Para el mismo artículo, el costo de ordenar es el mismo, sin importar el tamaño de la orden. El agente de compras debe dedicar tiempo a decidir cuánto ordenar y, quizá, seleccionar a un proveedor y negociar los términos. También se dedica tiempo al llenado de documentos, seguimiento y recepción de los artículos. En el caso de un orden de producción para un artículo fabricado, con frecuencia la orden debe ir acompañada de un plano o modelo y sus instrucciones. Sin embargo, el Internet simplifica el proceso de ordenar y reduce los costos de colocar las órdenes.

Costo de preparación El costo involucrado en hacer cambios en una máquina o lugar de trabajo para producir un artículo diferente es el **costo de preparación.** Incluye mano de obra y tiempo para hacer el cambio, limpiar y algunas veces nuevas herramientas o equipo. Los costos de desperdicio o retrabajo también son altos al iniciar la corrida de producción. El costo de preparación también es independiente del tamaño de la orden, lo cual crea presión para hacer u ordenar un suministro grande de artículos y tenerlos en inventario en lugar de ordenar lotes más pequeños.

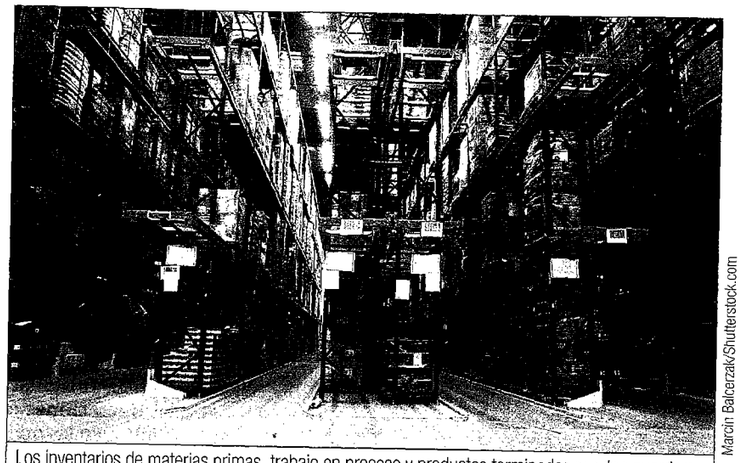
Utilización de mano de obra y equipo Al crear más inventario, la administración puede incrementar la productividad de la fuerza de trabajo y la utilización de la instalación de tres maneras. Primero, colocar órdenes de producción más grandes, menos frecuentes, reduce el número de preparaciones improductivas, que no agregan valor a un producto o servicio. Segundo, mantener inventario reduce la probabilidad de una reprogramación costosa de las órdenes de producción porque los componentes necesarios para hacer el producto no estén en el inventario. Tercero, acumular inventarios mejora la utilización de los recursos al estabilizar la tasa de salida cuando la demanda es cíclica o estacional. La empresa utiliza la acumulación de inventarios durante los periodos holgados para manejar la demanda adicional en las temporadas pico. Este enfoque minimiza la necesidad de turnos adicionales, contratación, despidos, tiempo extra y equipo adicional.

GlowImages/Alamy

Sierras de metal como esta requieren tiempo para cambiar de un producto al siguiente. La profundidad y longitud del corte deben ajustarse y la cuchilla quizá tenga que cambiarse.

Costo de transporte Algunas veces, el costo de transporte de salida se puede reducir aumentando los niveles de inventario. Tener inventario permite hacer envíos de camiones más llenos y minimizar la necesidad de acelerar los envíos por modos de transporte más costosos. Los costos de transporte de entrada también se reducirían creando más inventario. Algunas veces, se ordenan varios artículos al mismo proveedor. Colocar estas órdenes al mismo tiempo aumentará los inventarios porque algunos artículos se ordenan antes de que en realidad se necesiten; de cualquier modo, puede generar tarifas de descuento, con lo que disminuyen los costos de transporte y materias primas.

Pago a los proveedores Una empresa a menudo puede reducir los pagos a los proveedores si logra tolerar niveles de inventario altos. Suponga que una empresa sabe que un proveedor clave está por incrementar sus precios. En este caso, podría ser menos costoso para la empresa ordenar una cantidad más grande que la usual —retrasando el aumento de precios— aun cuando el inventario aumente temporalmente. Una empresa puede también aprovechar los descuentos por cantidad de esta manera. Un **descuento por cantidad**, mediante el cual el precio unitario baja cuando la orden es suficientemente grande, es un incentivo para ordenar cantidades grandes. El suplemento C, "Modelos especiales de inventarios", muestra cómo determinar las cantidades por ordenar en esta situación.



Marcin Balcerzak/Shutterstock.com

Los inventarios de materias primas, trabajo en proceso y productos terminados pueden guardarse en la misma instalación. Los almacenes modernos permiten el acceso eficiente a los inventarios.

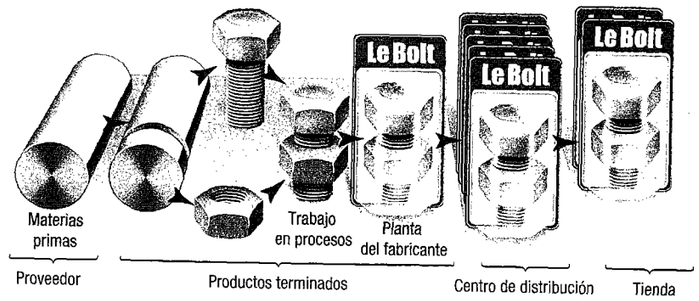
Tipos de inventario

Los inventarios se clasifican en tres categorías agregadas que son útiles para fines contables. **Materias primas (MP)** son los inventarios necesarios para la producción de bienes o servicios. Se consideran la entrada para los procesos de transformación de la empresa. **Trabajo en proceso (WIP)** consiste en artículos como componentes o ensambles necesarios para elaborar un producto final en la manufactura. El WIP también se presenta en algunas operaciones de servicio, como talleres de reparación, restaurantes, centro de procesos de verificación y servicios de entrega de paquetería. **Productos terminados (PT)** en las plantas de manufactura, almacenes y tiendas son los artículos vendidos a los clientes de la empresa. Los productos terminados de una empresa pueden ser las materias primas para otra.

trabajo en proceso
Artículos como componentes o ensambles necesarios para elaborar un producto final en la manufactura o las operaciones de servicio.

La figura 9.2 muestra cómo se mantienen los inventarios en diferentes formas y distintos puntos de abastecimiento. En este ejemplo, tanto el proveedor como el fabricante tienen materias primas, que son los bienes terminados del proveedor. Las materias primas en la planta pasan por uno o más procesos que las transforman en diferentes niveles de inventario WIP o de trabajo en marcha. El proceso final de este inventario lleva a un inventario de productos terminados. Los bienes terminados se pueden mantener en la planta, el centro de distribución (que puede ser un almacén propiedad del fabricante o el vendedor) y en las tiendas.

▼ **FIGURA 9.2**
Inventario de puntos de almacenaje sucesivos



Otras perspectivas del inventario es clasificarlo por la forma en que se creó. En este contexto, el inventario toma cuatro formas: **1.** ciclo, **2.** seguridad, **3.** previsión y **4.** tránsito. No se pueden identificar físicamente; esto es, un administrador de inventarios no logra ver una pila de cosas e identificar cuáles son del inventario de ciclo y cuáles del inventario de seguridad. Sin embargo, conceptualmente, cada uno de los cuatro tipos surge de una manera completamente diferente. Una vez que comprenda estas diferencias, usted podrá prescribir varias maneras de reducir el inventario, lo cual se estudiará en la siguiente sección.

productos terminados
Artículos en plantas de manufactura, almacenes y tiendas que se venden a los clientes de la empresa.

Inventario de ciclo La parte del inventario total que varía directamente con el tamaño del lote se llama **inventario de ciclo.** Determinar con qué frecuencia ordenar y qué cantidad se llama **fijar el tamaño del lote.** Se aplican dos principios.

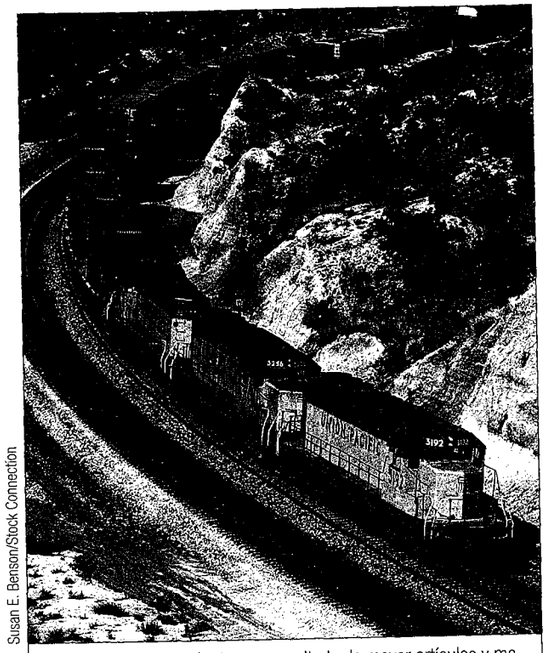
inventario de ciclo
Porción del inventario total que varía directamente con el tamaño del lote.

fijar el tamaño del lote
Determinación de la frecuencia y la cantidad para ordenar artículos para el inventario.

1. El tamaño del lote, Q, varía directamente con el tiempo transcurrido (o ciclo) entre órdenes. Si se ordena un lote cada cinco semanas, el tamaño del lote debe ser igual a la demanda de las cinco semanas.
2. Cuanto más tiempo pasa entre órdenes para un artículo dado, mayor debe ser el inventario de ciclo.

Al principio del intervalo, el inventario de ciclo tiene su nivel máximo, o Q. Al final del intervalo, justo antes de que llegue un nuevo lote, el inventario de ciclo baja al mínimo, o 0. El inventario de ciclo promedio es el promedio de estos dos extremos:

$$\text{Inventario de ciclo promedio} = \frac{Q+0}{2} = \frac{Q}{2}$$



Susan E. Benson/Stock Connection

Los inventarios en tránsito son resultado de mover artículos y materiales de un lugar a otro. Como los trenes ofrecen una manera económica de transportar grandes cantidades de bienes, son una elección preferida para reducir los costos de los inventarios en tránsito.

Esta fórmula es exacta solo cuando la tasa de demanda es constante y uniforme; pero proporciona una estimación razonablemente buena aun cuando las tasas de demanda no sean constantes. Otros factores diferentes a la tasa de demanda (como pérdidas por desperdicio) también pueden ocasionar errores en la estimación cuando se usa esta sencilla fórmula.

Inventario de seguridad Para evitar problemas con el servicio al cliente y los costos ocultos de la falta de disponibilidad de componentes, las compañías mantienen un inventario de seguridad. **El inventario de seguridad** es un registro excedente que protege contra las incertidumbres en la demanda, el tiempo de entrega y los cambios de suministros. Los inventarios de seguridad son deseables cuando los proveedores fallan en la entrega de la cantidad deseada en la fecha especificada o artículos de calidad aceptable o cuando los artículos fabricados requieren cantidades significativas de desperdicio o retrabajo. Los inventarios de seguridad aseguran de que no se interrumpan las operaciones cuando ocurren estos problemas, permitiendo que continúen las operaciones subsecuentes.

Para crear un inventario de seguridad, una empresa coloca una orden de entrega antes de que se necesite el artículo.[1] Entonces, la orden de reabastecimiento llega antes de tiempo y proporciona un amortiguador contra la incertidumbre. Por ejemplo, suponga que el tiempo de entrega promedio de un proveedor es tres semanas, pero una empresa ordena cinco semanas antes solo para estar segura. Esta política crea un inventario de seguridad igual al suministro para dos semanas (5 – 3).

Inventario de previsión El inventario utilizado para absorber tasas disparejas de demanda o entrega, que con frecuencia enfrentan las empresas, se conoce como **inventario de previsión**. Los patrones de demanda estacionales y predecibles se prestan para el uso de inventario de previsión. La demanda dispareja puede motivar a un fabricante a apilar inventario de previsión durante los periodos de demanda baja para que los niveles de producción no tengan que aumentar mucho cuando la demanda tiene un pico. El inventario de previsión también ayuda cuando los proveedores están amenazados con una huelga o tienen limitaciones de capacidad severas.

Inventario en tránsito El inventario que se crea cuando se ha emitido una orden para un artículo, pero no se ha recibido, se conoce como **inventario en tránsito**. Esta forma de inventario existe porque la empresa debe comprometerse con suficiente inventario (disponible más en tránsito) para cubrir el tiempo de entrega de una orden. Los tiempos de entrega largos o las demandas más altas por semana crean más inventario de tránsito. Como tal, el inventario promedio en tránsito entre dos puntos de almacenaje se puede medir como la demanda promedio durante el tiempo de entrega, $\bar{D}_L$, que es la demanda promedio del artículo por periodo ($\bar{d}$), multiplicada por el número de periodos en el tiempo de entrega del artículo (L) para mover entre los dos puntos de almacenaje, es decir

$$\text{Inventario en tránsito} = \bar{D}_L = \bar{d}L$$

La ecuación supone que tanto $\bar{d}$ como L son constantes y que L no es afectada por la orden o el tamaño del lote, Q. Cambiar el tamaño del lote de un artículo no afecta directamente el nivel promedio del inventario en tránsito. No obstante, el tamaño del lote afectaría *directamente* el inventario en tránsito, si se relaciona con el tiempo de entrega. En ese caso, el inventario en tránsito cambia dependiendo de la relación L a Q. El ejemplo 9.1 muestra cómo sucede esto.

inventario de seguridad
Inventario excedente que una compañía mantiene para protegerse contra la incertidumbre en la demanda, los tiempos de entrega y los cambios en el abastecimiento.

inventario de previsión
Inventario utilizado para absorber tasas de demanda o suministro disparejas.

inventario en tránsito
Inventario que se crea cuando se emite una orden para un artículo, pero no se ha recibido.

EJEMPLO 9.1 Estimación de los niveles de inventario

MyOMLab
El tutor 9.1 de MyOMLab proporciona un nuevo ejemplo para practicar la estimación de los niveles de inventario.

Una planta hace envíos mensuales de taladros eléctricos a un mayorista en lotes de tamaño promedio de 280 taladros. La demanda promedio del mayorista es 70 taladros a la semana y el tiempo de entrega desde la planta es tres semanas. El mayorista debe pagar por el inventario desde el momento en que la planta hace el envío. Si el mayorista está dispuesto a incrementar su cantidad comprada a 350 unidades, la planta dará prioridad al mayorista y le garantizará un tiempo de entrega de dos semanas. ¿Cuál es el efecto sobre el inventario de ciclo y el inventario en tránsito del mayorista?

[1]Cuando se colocan las órdenes en intervalos fijos, se utiliza una segunda manera de crear inventario de seguridad. Cada nueva orden colocada es mayor que la cantidad que por lo general se necesita hasta la siguiente fecha de entrega.

SOLUCIÓN
El inventario de ciclo y el inventario en tránsito del mayorista son

$$\text{Inventario de ciclo} = \frac{Q}{2} = \frac{280}{2} = 140 \text{ taladros}$$

$$\text{Inventario en tránsito} = \bar{D}_L = \bar{d}L = (70 \text{ taladros / sem})(3 \text{ sem}) = 210 \text{ taladros}$$

La figura 9.3 muestra los inventarios de ciclo y en tránsito si el mayorista acepta la nueva propuesta.

1. Introduzca el tamaño promedio del lote, la demanda promedio en el periodo y el número de periodos de tiempo de entrega:

Tamaño promedio de lote	350
Demanda promedio	70
Tiempo de entrega	2

2. Para calcular el inventario de ciclo, simplemente divida el tamaño promedio del lote entre 2. Para calcular el inventario *en tránsito, multiplique* la demanda promedio por el tiempo de entrega.

Inventario de ciclo	175
Inventario en tránsito	140

◀ **FIGURA 9.3**
Estimación de niveles de inventario utilizando el tutor 9.1.

PUNTO DE DECISIÓN
El efecto de la nueva propuesta sobre los inventarios de ciclo es aumentarlo en 35 unidades o 25%. Sin embargo, la reducción en los inventarios en tránsito es 70 unidades o 33%. La propuesta reduciría la inversión total en inventarios de ciclo y en tránsito. Además, también es ventajoso tener tiempos de entrega más cortos porque el mayorista solo tiene que comprometerse a comprar dos semanas antes en lugar de tres.

Tácticas para reducir inventarios

Los administradores siempre están ansiosos por encontrar maneras efectivas en costos para reducir los inventarios en las cadenas de suministro. Más adelante en este capítulo examinaremos varias formas de encontrar los lotes económicos. Aquí, estudiaremos algo más fundamental; las tácticas básicas (que podemos llamar *palancas*) para reducir el inventario en las cadenas de suministros. Una palanca primaria es una que debe activarse si el inventario se tiene que reducir. Una palanca secundaria reduce el costo de penalización al aplicar la palanca primaria y disminuir la necesidad de tener inventario en primer lugar.

Inventario de ciclo La palanca primaria para reducir el inventario de ciclo es simplemente reducir los tamaños de lotes de los artículos que se mueven en la cadena de suministro. Sin embargo, esa reducción en Q, sin hacer otros cambios, suele ser devastadora. Por ejemplo, los costos de preparación o de ordenar se irían por las nubes. Si estos cambios ocurren, se pueden usar dos palancas secundarias:

1. Simplificar los métodos para colocar órdenes y hacer preparaciones con el fin de reducir los costos de ordenar y de preparación y permitir que Q sea menor. Esto incluye rediseñar la infraestructura para los flujos de información o mejorar los procesos de manufactura.
2. Aumentar la repetitividad para eliminar la necesidad de cambios en las máquinas. La **repetitividad es** el grado en que el mismo trabajo se puede realizar otra vez. La repetitividad puede aumentar mediante una demanda alta del producto, el uso de especialización, la dedicación de los recursos exclusivamente a un producto, el uso de la misma parte en muchos productos diferentes, de *automatización flexible*, del concepto de un *trabajador, varias máquinas*, o mediante *tecnología de grupos*. Una mayor repetitividad puede justificar nuevos métodos de preparación, reducir los costos de transporte y aprovechar los descuentos por cantidad de los proveedores.

repetitividad
Grado en que el mismo trabajo se puede realizar de nuevo.

Inventario de seguridad La palanca primaria para reducir el inventario de seguridad es colocar órdenes más cercanas al tiempo en que deben recibirse. Sin embargo, este enfoque podría llevar a un servicio inaceptable para el cliente, a menos que la incertidumbre en la demanda, los suministros y la entrega pudieran minimizarse. En este caso se utilizan tres palancas secundarias:

1. Mejorar los pronósticos de demanda para que lleguen menos sorpresas por parte de los clientes. Diseñar un mecanismo para incrementar la colaboración con los clientes para obtener información adelantada acerca de cambios en los niveles de demanda.
2. Recortar los tiempos de entrega de artículos comprados o producidos para reducir la incertidumbre en la demanda. Por ejemplo, se seleccionan proveedores del área con tiempos de entrega cortos.
3. Reducir las incertidumbres en los suministros. Es posible que los proveedores sean más confiables si se comparte con ellos los planes de producción. Desarrollar mecanismos para incre-

mentar la colaboración con los proveedores. Se pueden reducir las sorpresas por desperdicio y retrabajo inesperado si se mejoran los procesos de fabricación. El mantenimiento preventivo ayuda a minimizar los paros repentinos ocasionados por fallas en el equipo.

4. Confiar más en los amortiguadores del equipo y la mano de obra, como los amortiguadores de capacidad y los trabajadores con capacitación cruzada o múltiple. Estos amortiguadores son importantes para negocios en el sector servicios porque en general no pueden inventariar sus servicios.

Inventario de previsión La palanca primaria para reducir el inventario de previsión es solo igualar la tasa de demanda con la tasa de producción. Se pueden usar palancas secundarias para emparejar la demanda de los clientes de una de las siguientes formas:

1. Agregar nuevos productos con ciclos de demanda diferentes para que el pico en la demanda de un producto compense la reducción estacional de otro.
2. Proporcionar campañas promocionales fuera de temporada.
3. Ofrecer planes de precios estacionales.

Inventario en tránsito Un administrador de operaciones tiene control directo sobre los tiempos de entrega, pero no sobre la tasa de demanda. Debido a que el inventario en tránsito es una función de la demanda durante el tiempo de entrega, la palanca primaria es reducir los tiempos de entrega. Dos palancas secundarias ayudan al administrador a disminuir los tiempos de entrega.

1. Encontrar proveedores con respuesta más rápida y seleccionar nuevos servicios de mensajería para los envíos entre localizaciones de inventarios o mejorar el manejo de materiales dentro de la planta. Mejorar los sistemas de información podría eliminar los retrasos en la información entre un centro de distribución y las tiendas.
2. Cambiar Q en los casos en que el tiempo de entrega depende del tamaño del lote.

Análisis ABC

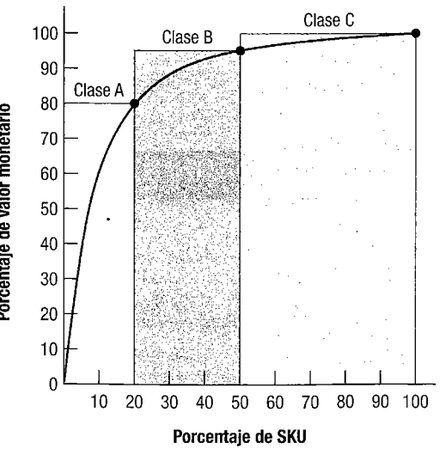
unidad que se mantiene en inventario (SKU)
Un artículo o producto individual con un código de identificación y que se mantiene en inventario en algún punto de la cadena de suministro.

análisis ABC
Proceso de dividir los SKU en tres clases, de acuerdo con su valor de uso, de manera que los administradores se puedan enfocar en artículos que tienen el valor monetario más alto.

Una organización típica mantiene miles de artículos, con frecuencia llamados *stock keeping units* (SKU), pero solo un pequeño porcentaje de ellos merece la atención y el control estrictos de la administración. Una **unidad que se mantiene en inventario** es un artículo o producto individual con un código de identificación que se mantiene en inventario en algún punto de la cadena de suministro. El **análisis ABC** es el proceso de dividir los SKU en tres clases, de acuerdo con su valor de uso, de manera que los administradores se puedan enfocar en los artículos que tienen el valor monetario más alto. Este método es equivalente a crear una *gráfica de Pareto* excepto que se aplica al inventario en lugar de a los errores del proceso. Como muestra la figura 9.4, los artículos de la clase A representan solo cerca de 20% de los SKU pero son responsables de 80% del valor de uso. Los artículos de la clase B dan cuenta de 30% de los SKU ,pero solo de 15% del valor de uso. Por último, 50% de los SKU caen en la clase C que representa solo 5% del valor de uso. La meta del análisis ABC es identificar los SKU en la clase A para que la administración pueda controlar sus niveles de inventario.

El análisis comienza por multiplicar la tasa de demanda anual de un SKU por el valor monetario (costo) de una unidad de ese SKU, para determinar el valor de uso. Después de clasificar los SKU, con base en el valor de uso, y crear la gráfica de Pareto, el analista busca cambios "naturales" en la pendiente. Las líneas divisoras en la figura 9.4 entre las clases no son precisas. La clase A podría ser mayor o menor que 20% de todos los SKU pero normalmente son responsables de la mayor cantidad del valor de uso

▼ **FIGURA 9.4**
Gráfica típica al aplicar el análisis ABC



La clase A de los SKU se revisa con frecuencia para reducir el tamaño promedio del lote y asegurar entregas a tiempo de los proveedores. Es importante mantener una rotación de inventario alta para estos artículos. Por el contrario, la clase B de SKU requiere un nivel intermedio de control. Aquí, un monitoreo menos frecuente de los proveedores, aunado a inventarios de seguridad adecuados, puede proporcionar una cobertura efectiva en costos de las demandas. Para los SKU de la clase C, un control mucho más flexible es lo apropiado. Mientras que un faltante de un SKU de la clase C puede ser tan crucial como para los de la clase A, el costo de mantener inventario de la clase C tiende a ser menor. Estas características sugieren que se toleren niveles de inventario altos y que más inventario de seguridad y lotes más grandes sería suficiente para los SKU de la clase C. Véase en el problema resuelto 2 un ejemplo detallado del análisis ABC.

Crear clasificaciones de inventarios ABC es inútil, a menos que los registros de inventario sean precisos. La tecnología puede ayudar, pues muchas compañías rastrean el inventario, siempre que exista en la cadena de suministro. Algunos chips integrados al empaque del producto que contienen información sobre el producto envían señales a las cuales tienen acceso los receptores que luego trasmiten la información a una central para procesarla. También se pueden utilizar otros enfoques menos elaborados para lograr la exactitud. Una manera es asignar la responsabilidad a empleados específicos

para emitir y recibir materiales y reportar de modo preciso cada transacción. Otro método es asegurar el inventario detrás de puertas o rejas para prevenir retiros no autorizados o no reportados. Este método también evita que alguien guarde accidentalmente inventario recién recibido en el lugar equivocado, donde puede perderse por meses. También se puede optar por **el conteo cíclico**, en el cual el personal de almacén cuenta físicamente un pequeño porcentaje del número total de SKU cada día y corrige los errores encontrados. Los SKU de la clase A se cuentan con más frecuencia. Un último método para sistemas computarizados es hacer verificaciones de errores lógicos en cada transacción registrada e investigar a fondo las discrepancias. Estas discrepancias incluyen: **1.** recepciones reales cuando no hay entregas programadas, **2.** salidas que exceden el saldo de inventario actual y **3.** recepciones con número de SKU inexacto (o no existente).

conteo cíclico
Método de control de inventarios en el que el personal de almacén cuenta un pequeño porcentaje del número total de artículos cada día y corrige los errores que se encuentren.

Ahora que se han identificado los artículos en inventario que merecen más atención, dedicamos el resto el del capítulo a las decisiones de cuánto ordenar y cuándo.

Lote económico

Los administradores de las cadenas de suministro se enfrentan a presiones en conflicto para mantener los inventarios suficientemente bajos para evitar los costos excesivos de mantener el inventario, pero suficientemente alto para reducir los costos de preparación y de ordenar. El *costo de mantener inventario* es la suma del costo de capital y los costos variables de tener artículos disponibles, como almacenaje y manejo, impuestos, seguros y mermas. El *costo de ordenar* es el costo de preparar una orden de compra para un proveedor o una orden de producción para el taller, mientras que el *costo de preparar* es el costo de hacer cambios en una máquina para producir un artículo diferente. En esta sección se estudiará el *inventario de ciclo,* que es la porción del inventario total que varía directamente con el tamaño del lote. Un buen punto de partida para balancear estas presiones en conflicto y determinar el mejor nivel de inventario de ciclo para un artículo es la cantidad económica a ordenar o **lote económico (EOQ)**, que es el tamaño de lote que minimiza los costos totales anuales de mantener el inventario de ciclo y de ordenar. El enfoque para determinar el EOQ se basa en las siguientes suposiciones:

lote económico (EOQ)
Tamaño de lote que minimiza los costos totales anuales de mantener y de ordenar inventario.

1. La tasa de demanda del artículo es constante (por ejemplo, siempre 10 unidades por día) y se conoce con certidumbre.
2. No hay restricciones (como capacidad del camión o limitaciones en el manejo de materiales) sobre el tamaño del lote.
3. Los únicos dos costos relevantes son el costo de mantener inventario y el costo fijo por lote de ordenar o preparar.
4. Las decisiones para un artículo se pueden tomar de manera independiente de las decisiones para otros artículos. En otras palabras, no se obtiene una ventaja al combinar varias órdenes que van al mismo proveedor.
5. El tiempo de entrega es constante (por ejemplo, siempre es 14 días) y se conoce con certidumbre. La cantidad recibida es exactamente lo que se ordena y llega toda al mismo tiempo y no por partes.

El lote económico será óptimo cuando las cinco suposiciones se satisfacen. En realidad, pocas situaciones son tan sencillas. De cualquier modo, con frecuencia el EOQ es una aproximación razonable del tamaño de lote apropiado, aun cuando varias de las suposiciones no se cumplan por completo. Se presentan algunas guías sobre cuándo utilizar o modificar el EOQ.

- **No utilice el EOQ**
  - Si usa la estrategia de "hacer sobre pedido" y su cliente especifica que toda la orden debe entregarse en un envío.
  - Si el tamaño de la orden está restringido por limitaciones de capacidad, como el tamaño de los hornos de la empresa, la cantidad de equipos de prueba o el número de camiones de entrega.
- **Modifique el EOQ**
  - Si se ofrece una cantidad significativa de descuentos por ordenar en lotes grandes.
  - Si el reabastecimiento del inventario no es instantáneo, lo que ocurre si el número de artículos debe usarse o venderse en cuanto estén terminados, sin esperar a que se complete todo el lote (vea en el suplemento C, "Modelos especiales de inventarios", varias modificaciones útiles del EOQ).
- **Utilice EOQ**
  - Si sigue una estrategia de "hacer para almacenar" y el artículo tiene una demanda relativamente estable.
  - Si sus costos de mantener por unidad y los costos de ordenar o preparar se conocen y son relativamente estables.

El EOQ no se desarrolló como una herramienta de optimización. De todas formas, si necesita determinar un tamaño de lote razonable, puede ser útil en muchas situaciones.

Cálculo del EOQ

Comenzamos por formular el costo total para cualquier tamaño de lote Q para un SKU dado. Después, derivamos el EOQ, que es la Q que minimiza el costo total anual del inventario de ciclo. Por último, describimos cómo convertir el EOQ en una medida asociada, así como el tiempo transcurrido entre órdenes.

Cuando las suposiciones del EOQ se cumplen, el inventario de ciclo se comporta como se muestra en la figura 9.5. Un ciclo comienza con Q unidades en inventario, lo que ocurre cuando se recibe una nueva orden. Durante el ciclo, el inventario se usa a una tasa constante y, como se conoce la demanda con certeza y el tiempo de entrega es constante, se puede ordenar un nuevo lote para que el inventario baje a 0 justo cuando se recibe la nueva orden. Puesto que el inventario varía de manera uniforme entre Q y 0, el inventario de ciclo promedio es igual a la mitad de tamaño de lote, Q.

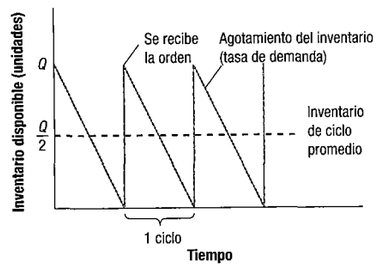


FIGURA 9.5 ▶
Niveles de inventario de ciclo

El costo anual de mantener para esta cantidad de inventario, que aumenta linealmente con Q, como se muestra en la figura 9.6 *a*), es:

Costo anual de mantener = (inventario de ciclo promedio) (costo unitario de mantener)

El costo anual de ordenar es:

Costo anual de ordenar = (número de órdenes/año) (costo de ordenar o preparar)

El número promedio de órdenes por año es igual a la demanda anual dividida entre Q. Por ejemplo, si deben ordenarse 1,200 unidades cada año y el tamaño de lote promedio es 100 unidades, entonces se colocarán 12 órdenes durante el año. El costo anual de ordenar o preparar disminuye linealmente cuando Q aumenta, como se muestra en la figura 9.6 *b*), porque se colocan menos órdenes.

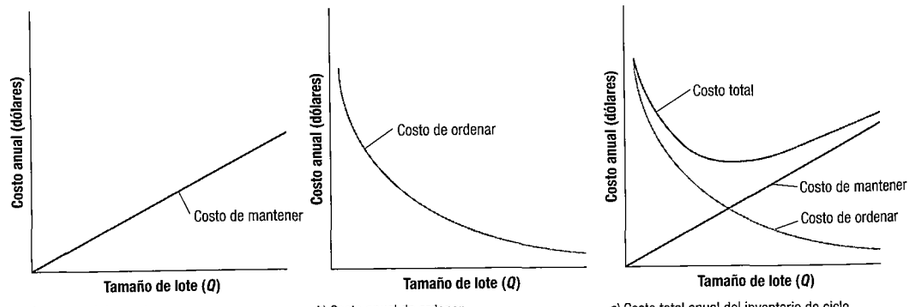


FIGURA 9.6 ▶
Gráficas de costos anuales de mantener, ordenar y total

El costo total anual del inventario de ciclo,[2] según la gráfica de la figura 9.6 *c*), es la suma de las dos componentes de costo:

Costo total = costo anual de mantener + costo anual de ordenar o preparar[3]

$$C = \frac{Q}{2}(H) + \frac{D}{Q}(S)$$

[2]Expresar el costo total por año es conveniente (aunque no necesario). Se puede elegir cualquier horizonte de tiempo siempre que D y H cubran el mismo periodo. Si el costo total se calcula por mes, D debe ser la demanda mensual y H el costo de mantener una unidad por un mes.

[3]El número de órdenes efectivamente colocadas en cualquier año es siempre un número entero, aunque la fórmula permite valores fraccionales; sin embargo, no es necesario redondear porque lo que se está calculando es un promedio para varios años. Estos promedios con frecuencia no son enteros.

donde:

C = costo total anual del inventario de ciclo
Q = tamaño de lote, en unidades
H = costo de mantener una unidad en inventario durante un año, con frecuencia expresado como porcentaje del valor de los artículos
D = demanda anual, en unidades por año
S = costo de ordenar o preparar un lote, en dólares por lote

EJEMPLO 9.2 Costo de una política de tamaño de lote

Un museo de historia natural abrió una tienda de regalos hace dos años. Manejar los inventarios se ha convertido en un problema. La baja rotación del inventario se está llevando los márgenes de ganancia y ocasionando problemas de flujo de efectivo.

Uno de los SKU que se vende más de la tienda es un comedero para aves. Las ventas son 18 unidades por semana y el proveedor cobra $60 por unidad. El costo de colocar una orden con el proveedor es $45. El costo anual de mantener es 25% del valor de un comedero y el museo opera 52 semanas por año. La administración elige un lote de 390 unidades para que las nuevas órdenes se puedan colocar con menos frecuencia. ¿Cuál es el costo anual del inventario de ciclo con la política actual de usar un lote de 390 unidades? ¿Sería mejor un tamaño de lote de 468?

SOLUCIÓN

Comenzamos por calcular la demanda anual y el costo de mantener como:

$$D = (18 \text{ unidades/semana})\,(52 \text{ semanas/año}) = 936 \text{ unidades}$$

$$H = 0.25(\$60/\text{unidad}) = \$15$$

El costo total anual del inventario de ciclo para la política actual es:

$$C = \frac{Q}{2}(H) + \frac{D}{Q}(S)$$

$$= \frac{390}{2}(\$15) + \frac{936}{390}(\$45) = \$2{,}925 + \$108 = \$3{,}033$$

El costo total anual del inventario de ciclo para el tamaño de lote alternativo es:

$$C = \frac{468}{2}(\$15) + \frac{936}{468}(\$45) = \$3{,}510 + \$90 = \$3{,}600$$

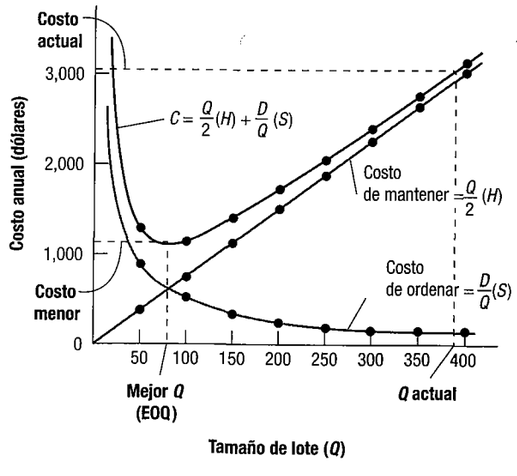
PUNTO DE DECISIÓN

El tamaño de lote de 468 unidades, que es el suministro de medio año, sería una opción más costosa que la política actual. El ahorro en los costos de ordenar es más de lo que se compensa por el aumento en los costos de mantener. La administración debería utilizar la función de costo total anual del inventario de ciclo para explorar otros tamaños de lote.

La figura 9.7 presenta el impacto de utilizar varios valores de Q para los comederos de aves del ejemplo 9.2. Se evaluaron ocho tamaños de lotes, además del actual. Se graficaron los costos de mantener y de ordenar, pero su suma —la curva del costo total anual del inventario de ciclo— es la característica importante. La gráfica muestra que el mejor tamaño de lote, o EOQ, es el punto más bajo de la curva de costo total anual o entre 50 y 100 unidades. Es evidente que reducir el tamaño de lote actual ($Q = 390$) puede redundar en ahorros significativos.

Un enfoque más eficiente es utilizar la fórmula de EOQ:

$$\text{EOQ} = \sqrt{\frac{2DS}{H}}$$



◀ **FIGURA 9.7**
Función de costo total anual del inventario de ciclo para el comedero para aves

Utilizamos cálculo para obtener la fórmula del EOQ a partir de la función de costo total anual del inventario de ciclo. Tomamos la primera derivada de esa función de costo total anual respecto a Q, la igualamos a 0 y despejamos Q. Como indica la figura 9.7, el EOQ es la cantidad a ordenar para la cual el costo anual de mantener es igual al costo anual de ordenar. Si usamos esta información, podemos también obtener la fórmula de EOQ igualando las fórmulas del costo anual de ordenar y el costo anual de mantener y despejar Q. La gráfica de la figura 9.7 también revela que cuando el costo anual de mantener para cualquier Q excede el costo anual de ordenar, como en el caso de la orden de 390 unidades, podemos de inmediato concluir que Q es demasiado alta. Una Q menor disminuye el costo de mantener y aumenta el costo de ordenar, haciendo que se equilibren. De manera similar, si el costo anual de ordenar excede el costo anual de mantener, Q debe ser mayor.

tiempo entre órdenes (TBO)
Tiempo promedio transcurrido entre recibir (o colocar) órdenes de reabastecimiento de Q unidades para un tamaño de lote específico.

Algunas veces, las políticas de inventario se basan en el tiempo entre órdenes de reabastecimiento, en lugar de en el número de unidades en el lote. El **tiempo entre órdenes (TBO)** para un tamaño de lote dado es el tiempo promedio transcurrido entre la recepción (o colocación) de las órdenes de reabastecimiento de Q unidades. Expresado como una fracción del año, el TBO es simplemente Q dividido entre la demanda anual. Cuando se usa el EOQ y se expresa el tiempo en términos de meses, el TBO es

$$\text{TBO}_{\text{EOQ}} = \frac{\text{EOQ}}{D}(12 \text{ meses/año})$$

En el ejemplo 9.3, se muestra cómo calcular el TBO para años, meses, semanas y días.

EJEMPLO 9.3 Encontrar el EOQ, el costo total y el TBO

MyOMLab
El tutor 9.2 en MyOMLab proporciona un nuevo ejemplo para practicar la aplicación del modelo EOQ.

MyOMLab
El modelo activo 9.1 en MyOMLab proporciona información adicional sobre el modelo EOQ y sus aplicaciones.

Para el comedero para pájaros del ejemplo 9.2, calcule el EOQ y su costo anual del inventario de ciclo. ¿Con qué frecuencia se colocarán las órdenes si se usa el EOQ?

SOLUCIÓN
Utilizando las fórmulas para EOQ y el costo anual, obtenemos:

$$\text{EOQ} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(936)(45)}{15}} = 74.94 \text{ o } 75 \text{ unidades}$$

La figura 9.8 muestra que el costo total anual es mucho menor que el costo de $3,033 de la política actual de colocar órdenes por 390 unidades.

FIGURA 9.8 ▶
Costo total anual del inventario de ciclo con base en EOQ utilizando el tutor 9.3.

Parámetros			
Tamaño de lote actual (Q)	390	Lote económico	75
Demanda (D)	936		
Costo de ordenar (S)	$45		
Costo unitario de mantener (H)	$15		

Costos anuales		Costos anuales con base en EOQ	
Órdenes por año	2.4	Órdenes por año	12.48
Costo anual de ordenar	$108.00	Costo anual de ordenar	$561.60
Costo anual de mantener	$2,925.00	Costo anual de mantener	$562.50
Costo anual de inventario	$3,033.00	Costo anual de inventario	$1,124.10

Cuando se usa EOQ, el TBO se puede expresar de varias maneras para el mismo periodo.

$$\text{TBO}_{\text{EOQ}} \frac{\text{EOQ}}{D} = \frac{75}{936} = 0.080 \text{ años}$$

$$\text{TBO}_{\text{EOQ}} \frac{\text{EOQ}}{D} = (12 \text{ meses/año}) = \frac{75}{936}(12) = 0.96 \text{ meses}$$

$$\text{TBO}_{\text{EOQ}} \frac{\text{EOQ}}{D} = (52 \text{ semanas/año}) = \frac{75}{936}(52) = 4.17 \text{ semanas}$$

$$\text{TBO}_{\text{EOQ}} \frac{\text{EOQ}}{D} = (365 \text{ días/año}) = \frac{75}{936}(365) = 29.25 \text{ días}$$

PUNTO DE DECISIÓN
Con el EOQ, se requieren cerca de 12 órdenes por año. Si se usa la política actual de 390 unidades por orden, se necesita un promedio de 2.4 órdenes cada año (cada cinco meses). La política actual ahorra en los costos de ordenar, pero incurre en un costo más alto para mantener el inventario. Aunque es fácil ver qué opción es la mejor, considerando el costo de ordenar y mantener otros factores que quizás afecten la decisión final. Por ejemplo, si el proveedor redujera el precio por unidad para órdenes grandes, pudiera ser mejor ordenar cantidades grandes.

Perspectiva administrativa del EOQ

Someter a la fórmula del EOQ a un *análisis de sensibilidad* puede llevar a información valiosa para la administración de inventarios. El análisis de sensibilidad es una técnica para cambiar de manera sistemática los parámetros cruciales para determinar los efectos del cambio. La tabla 9.1 muestra los efectos sobre EOQ cuando sustituimos diferentes valores en el numerador o denominador de la fórmula.

TABLA 9.1 | ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE EOQ

Parámetro	EOQ	Cambio de parámetro	Cambio en EOQ	Comentarios
Parámetro	$\sqrt{\frac{2DS}{H}}$	↑	↑	El aumento en el tamaño de lote es proporcional a la raíz cuadrada de D.
Costos de ordenar/preparar	$\sqrt{\frac{2DS}{H}}$	↓	↓	Las semanas de suministros disminuyen y la rotación de inventario aumenta porque el tamaño del lote disminuye.
Costos de mantener	$\sqrt{\frac{2DS}{H}}$	↓	↑	Los lotes más grandes se justifican cuando los costos de mantener disminuyen.

Como ilustra la tabla 9.1, el EOQ proporciona apoyo para cierta intuición que pueda tener acerca de la administración de inventarios. Sin embargo, el efecto de los cambios en el costo de ordenar o preparar sobre los inventarios es especialmente importante para los *sistemas esbeltos*. Esta relación explica por qué los fabricantes están tan preocupados por reducir el tiempo de preparación y sus costos; incluso, hace que la producción con lotes pequeños sea económica. En realidad, los sistemas esbeltos proveen un entorno que conduce al uso de EOQ. Por ejemplo, la demanda anual, mensual, diaria o por hora se conoce con una certeza razonable en los sistemas esbeltos y la tasa de demanda es relativamente uniforme. Los sistemas esbeltos (véase el capítulo 8, "Sistemas esbeltos") pueden tener pocas restricciones de proceso si la empresa pone en práctica la *administración de restricciones* (véase el capítulo 7, "Administración de restricciones"). Además, los sistemas esbeltos luchan por tiempos de entrega constantes y cantidades entregadas confiables de los proveedores, donde ambas cosas son suposiciones del EOQ. En consecuencia, el EOQ como una herramienta para el tamaño del lote es bastante compatible con los principios de los sistemas esbeltos.

Sistemas de control de inventarios

El EOQ y otros métodos de tamaño de lote responden a una pregunta importante: ¿*Cuánto* debemos ordenar? Otra pregunta relevante que necesita respuesta es: ¿*Cuándo* debemos ordenar? Un sistema de control de inventarios responde a ambas preguntas. En la selección del sistema de control de inventarios para una aplicación en particular, la naturaleza de la demanda impuesta sobre los artículos en inventario es crucial. Una distinción importante entre los tipos de inventarios es si un artículo está sujeto a una demanda dependiente o independiente. Las tiendas como JCPenney y los distribuidores deben manejar **artículos con demanda independiente**; es decir, los artículos para los que la demanda está bajo la influencia de las condiciones del mercado y no tiene relación con las decisiones de inventario para cualquiera de los otros artículos en inventario o producción. El inventario de demanda independiente incluye:

artículos con demanda independiente
Artículos para los cuales la demanda recibe influencia de las condiciones del mercado y no se relaciona con las decisiones de inventario para cualquier otro artículo que se almacene o se produzca.

- Mercancía al mayoreo y menudeo.
- Inventario de apoyo al servicio, como estampillas y listas de correo para las oficinas postales, suministros de oficina para los despachos de abogados y suministros de laboratorio para la investigación universitaria.
- Inventarios de distribución de productos y partes de repuesto.
- Suministros de mantenimiento, reparación y operación; es decir, artículos que no se vuelven parte del servicio o producto final, como uniformes de empleados, gasolina, pintura y partes para reparar una máquina.

Administrar inventarios con demanda independiente puede ser engañoso porque la demanda recibe influencia de factores externos. Por ejemplo, el dueño de una librería quizá no esté seguro de cuántas copias del último libro más vendido comprarán los clientes durante el siguiente mes. Como resultado, el administrador puede decidir guardar copias adicionales como seguro. La demanda independiente, como la demanda de varios títulos de libros, debe *pronosticarse*.

En este capítulo nos enfocamos en los sistemas de control de inventarios para artículos con demanda independiente, que es el tipo de demanda que enfrentan el propietario de la librería, otras tiendas, proveedores de servicios y distribuidores. Aun cuando es difícil pronosticar la demanda de cualquier cliente, la demanda baja de algunos clientes para un artículo en particular,

Las tiendas de menudeo suelen enfrentarse a demandas independientes para sus productos. En la foto, los compradores buscan ofertas en una tienda de JCPenney en Glendale Galleria en California.

muchas veces se compensa por la alta demanda de otros. Entonces, la demanda total para cualquier artículo con demanda independiente puede seguir un patrón relativamente sencillo, con algunas fluctuaciones aleatorias. Los *artículos con demanda dependiente* son los que se requieren como componentes o insumos para un producto o servicio. La demanda dependiente exhibe un patrón muy distinto del de la demanda independiente y debe manejarse con técnicas diferentes (vea el capítulo 16, "Planeación de recursos").

En esta sección, estudiamos y comparamos dos sistemas de control de inventarios: **1.** el sistema de revisión continua, llamado sistema *Q* y **2.** el sistema de revisión periódica, llamado sistema *P*. Cerramos con una revisión de los sistemas híbridos que incorporan características de los dos sistema, *P* y *Q*.

Sistema de revisión continua

Un **sistema de revisión continua *(Q)*,** algunas veces llamado **sistema de punto de reorden (ROP)** o *sistema de cantidad fija,* rastrea el inventario restante de un SKU cada vez que se hace un retiro para determinar si es tiempo de reordenar. En la práctica, estas revisiones se hacen con frecuencia (por ejemplo, todos los días) y muchas veces continuamente (después de cada retiro). El advenimiento de las computadoras y de las cajas registradoras electrónicas ligadas a los registros de inventarios ha simplificado la revisión continua. En cada revisión, se toma una decisión acerca de la posición del inventario del SKU. Si se considera que está bajo, el sistema inicia una nueva orden. La **posición del inventario (IP)** mide la capacidad del SKU para satisfacer la demanda futura. Incluye las **recepciones programadas (RS),** que son órdenes colocadas pero que no se han recibido, más el inventario disponible (OH) menos las órdenes retrasadas (BO). Algunas veces, las recepciones programadas se llaman **órdenes abiertas.** De manera más específica,

sistema de revisión continua (*Q*)
Sistema diseñado para rastrear lo que queda en inventario de un SKU cada vez que se hace un retiro para determinar si es tiempo de reordenar.

sistema de punto de reorden (ROP)
Véase sistema de revisión continua (Q).

posición del inventario (IP)
Medida de la capacidad de un SKU para satisfacer la demanda futura.

recepciones programadas (SR)
Órdenes colocadas que todavía no se reciben.

órdenes abiertas
Véase recepciones programadas (SR)

punto de reorden (*R*)
Nivel mínimo predeterminado que debe alcanzar el nivel de un inventario antes de ordenar una cantidad fija Q del SKU.

Posición del inventario = inventario disponible + recepciones programadas – órdenes atrasadas

$$IP = OH + SR - BO$$

Cuando la posición del inventario alcanza un nivel mínimo predeterminado, llamado **punto de reorden *(R)***, se ordena una cantidad fija *Q* del SKU en cuestión. En un sistema de revisión continua, aunque la cantidad a ordenar *Q* es fija, el tiempo entre órdenes puede variar. Así, *Q* se puede basar en el EOQ, en una cantidad de corte de precio (el tamaño de lote mínimo que califica para un descuento), el tamaño de un contenedor (como la carga de un camión) o alguna otra cantidad elegida por la administración.

Selección del punto de reorden cuando la demanda y el tiempo de entrega son constantes Para exponer el concepto de punto de reorden, suponga que la demanda de los comederos en la tienda de regalos del museo del ejemplo 9.3 siempre es 18 por semana, el tiempo de entrega es constante en dos semanas y el proveedor siempre envía justo el número ordenado a tiempo. Con la demanda y el tiempo de entrega constantes, el comprador del museo puede esperar hasta que la posición del inventario baje a 36 unidades, o (18 unidades/semana) (dos semanas), para colocar una nueva orden. Entonces, en este caso, el punto de reorden, *R,* es igual a la *demanda total durante el tiempo de entrega,* sin inventario de seguridad adicional.

La figura 9.9 muestra cómo opera el sistema cuando la demanda y el tiempo de entrega son constantes. La línea con pendiente hacia abajo representa el inventario disponible, que se está agotando a una tasa constante. Cuando llega al punto de reorden *R* (la línea horizontal), se coloca una nueva orden de *Q* unidades. El inventario disponible sigue bajando durante el tiempo de entrega *L* hasta que se recibe una orden. En ese momento, que marca el final de tiempo de entrega, el inventario disponible salta en *Q* unidades. Una nueva orden llega justo cuando el inventario baja a 0. El TBO es el mismo cada ciclo.

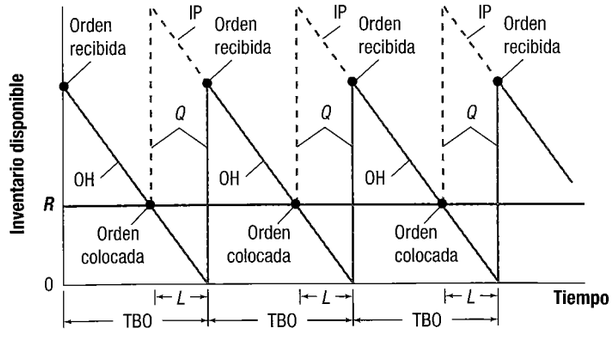


FIGURA 9.9 ▶
Sistema *Q* cuando la demanda y el tiempo de entrega son constantes y se conocen con certeza

La posición del inventario, IP, mostrada en la figura 9.9, corresponde al inventario disponible, excepto durante el tiempo de entrega. Justo después de colocar una orden, al inicio del tiempo de entrega, IP aumenta en *Q*, como se ve en la línea punteada. La IP excede OH por este mismo margen durante todo el tiempo de entrega.[4] Al final del tiempo de entrega, cuando la recepción programada se convierte en inventario disponible, IP = OH una vez más. El punto clave aquí es comparar IP, NO OH, con *R* al decidir si reordenar. Un error común es ignorar las recepciones programadas o las órdenes atrasadas.

EJEMPLO 9.4 Colocación de una orden cuando la demanda y el tiempo de entrega son constantes

La demanda de sopa de pollo en un supermercado siempre es 25 cajas al día y el tiempo de entrega siempre es cuatro días. Los anaqueles acaban de reabastecerse con sopa de pollo, dejando un inventario disponible de 10 cajas. No existen órdenes atrasadas por ahora, pero hay una orden abierta en tránsito de 200 cajas. ¿Cuál es la posición del inventario? ¿Debe colocarse una nueva orden?

SOLUCIÓN

R = demanda total durante el tiempo de entrega = (25) (4) = 100 cajas
IP = OH + SR – BO
= 10 + 200 – 0 = 210 cajas

PUNTO DE DECISIÓN

Debido a que IP excede a *R* (210 contra 100), no se debe reordenar. El inventario está casi agotado, pero no es necesario colocar una nueva orden porque la recepción programada está en tránsito.

Selección de un punto de reorden cuando la demanda es variable y el tiempo de entrega es constante En realidad la demanda no siempre es predecible. Por ejemplo, el comprador del museo sabe que la demanda *promedio* es 18 comederos por semana. Esto es, pueden comprar un número variable de comederos durante el tiempo de entrega, con una demanda promedio durante ese tiempo de 36 comederos (suponiendo que la demanda de cada semana está idénticamente distribuida y el tiempo de entrega es una constante de dos semanas). Esta situación da lugar a la necesidad de inventarios de seguridad. Suponga que el comprador del museo establece *R* en 46 unidades, con los que coloca órdenes antes de que se necesite. Este enfoque creará un inventario de seguridad o inventario excedente según la demanda esperada, de 10 unidades (46 – 36) como amortiguador contra la incertidumbre de la demanda. En general,

Punto de reorden = demanda promedio en el tiempo de entrega + inventario de seguridad

$$= \bar{d}L + \text{inventario de seguridad}$$

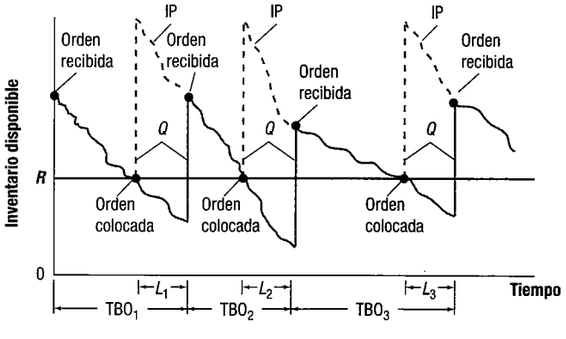
donde:

$\bar{d}$ = demanda promedio por semana (día o mes)
L = tiempo de entrega constante en semanas (días o meses)

La figura 9.10 muestra el funcionamiento del sistema *Q* cuando la demanda es variable y el tiempo de entrega constante. La pendiente ondulada hacia abajo indica que la demanda varía de un día a otro. Su pendiente es más inclinada en el segundo ciclo, lo cual significa que la tasa de demanda es mayor durante este periodo. El cambio en la tasa de demanda significa que el tiempo entre órdenes cambia, de manera que $TBO_1 \neq TBO_2 \neq TBO_3$. Debido a la demanda incierta, las ventas durante el tiempo de entrega son impredecibles y se agrega un inventario de seguridad para protegerse contra la pérdida de ventas. A esta adición se debe que *R* sea más alta en la figura 9.10 que en la 9.9. También explica por qué el inventario disponible normalmente no baja a cero para cuando la orden llega. Cuanto mayor es el inventario de seguridad y con ello mayor el punto de reorden *R,* menor es la posibilidad de un faltante.

Como la demanda promedio durante el tiempo de entrega es variable, la decisión real a tomar al seleccionar *R* se refiere al inventario de seguridad. Decidir un inventario de seguridad pequeño o grande es un equilibrio entre el servicio al cliente y los costos de mantener el inventario. Se pueden aplicar los modelos que minimizan costos para encontrar el mejor inventario de seguridad, pero requieren estimaciones de faltantes y costos de órdenes atrasadas, que suele ser difícil obtener con alguna precisión porque es difícil estimar el efecto de las ventas perdidas, la pérdida de confianza del cliente, la futura lealtad de los clientes y el porcentaje de mercado debido a que el cliente se fue con el competidor. El enfoque usual para determinar *R* es que la administración, con base en su criterio, establezca una política de nivel de servicio

▼ FIGURA 9.10
Sistema *Q* cuando la demanda es incierta



[4]Una excepción posible es la poco probable situación en que más de una recepción programada está abierta al mismo tiempo debido a tiempos de entrega largos.

razonable para el inventario y luego determine el nivel de inventario de seguridad que satisface esta política. Existen tres pasos para llegar al punto de reorden:

1. Elegir una política de nivel de servicio adecuada.
2. Determinar la distribución de la demanda durante el tiempo de entrega.
3. Determinar los niveles del inventario de seguridad y del punto de reorden.

nivel de servicio
Probabilidad deseada de no tener faltantes en cualquier ciclo de la orden, que comienza en el momento en que se coloca una orden y termina cuando llega al inventario.

nivel de servicio de ciclo
Véase nivel de servicio.

intervalo de protección
Periodo en el cual el inventario de seguridad debe proteger al usuario de que haya un faltante.

Paso 1: política de nivel de servicio Seleccionar un **nivel de servicio** o **nivel de servicio de ciclo** (la probabilidad deseada de no quedar con faltantes en cualquier ciclo de la orden), que comienza en el momento de colocar una orden y termina cuando llega al inventario. La intención es proporcionar cobertura en el **intervalo de protección** o periodo en el cual el inventario de seguridad debe proteger al usuario de tener un faltante. Para el sistema *Q*, el tiempo de entrega es el intervalo de protección. Por ejemplo, el gerente de una librería puede elegir un nivel de servicio del ciclo de 90% para un libro, la probabilidad es 90% de que la demanda no exceda la oferta durante el tiempo de entrega. La probabilidad de quedarse sin el libro *durante el intervalo de protección,* creando un faltante o una orden atrasada, es solo 10% (100 – 90) en el ejemplo. Este riesgo de faltantes, que ocurre solo durante el tiempo de entrega en los sistemas *Q*, es mayor que el riesgo global de un faltante porque el riesgo no existe fuera del ciclo de la orden.

Paso 2: distribución de la demanda durante el tiempo de entrega Determinar la distribución de la demanda durante el tiempo de entrega requiere especificar su media y su desviación estándar. Para traducir la política de nivel de servicio en un nivel de inventario específico, debemos conocer cómo se distribuye la demanda durante el tiempo de entrega. Si la demanda y el tiempo de entrega varían un poco alrededor de sus promedios, el inventario de seguridad puede ser pequeño. Por el contrario, si varían mucho de un ciclo de la orden al siguiente, el inventario de seguridad debe ser grande. La variabilidad se mide por la distribución de la demanda durante el tiempo de entrega. Algunas veces, la demanda promedio durante el tiempo de entrega y la desviación estándar de la demanda durante el tiempo de entrega no están disponibles directamente y deben calcularse combinando la información de la tasa de demanda con la información del tiempo de entrega. Suponga que el tiempo de entrega es constante y la demanda es variable, pero los registros de la demanda no se recolectan durante el intervalo que es justo el tiempo de entrega. El mismo sistema de control de inventarios tal vez se use para manejar miles de SKU, cada uno con diferente tiempo de entrega. Por ejemplo, si la demanda se reporta *cada semana,* estos registros se pueden usar directamente para calcular el promedio y la desviación estándar de la demanda durante el tiempo de entrega si este tiempo de entrega es exactamente una semana. Sin embargo, si el tiempo de entrega es de tres semanas, los cálculos son más difíciles.

Podemos determinar la demanda durante la distribución del tiempo de entrega haciendo suposiciones razonables. Suponga que la demanda promedio, $\bar{d}$, se conoce lo mismo que la desviación estándar, σ_d, durante un intervalo de días o semanas. Suponga también que las distribuciones de probabilidad de la demanda para cada intervalo son idénticas e independientes entre sí. Por ejemplo, si el intervalo es una semana, se supone que las distribuciones de probabilidad de la demanda son las mismas cada semana ($\bar{d}$ y σ_d idénticos) y la demanda total en una semana no afecta la demanda total en otra. Sea L el tiempo de entrega constante, expresado en las mismas unidades de tiempo que la demanda. Con estas suposiciones, la demanda promedio durante el tiempo de entrega será la suma de los promedios para cada una de las L distribuciones idénticas e independientes de la demanda, o sea $\bar{d} + \bar{d} + \bar{d} + \ldots = \bar{d}L$. Además, la varianza de la distribución de la demanda durante el tiempo de entrega será la suma de las varianzas de las L distribuciones idénticas e independientes de la demanda, es decir,

$$\sigma_d^2 + \sigma_d^2 + \sigma_d^2 + \ldots = \sigma_d^2 L$$

Por último, la desviación estándar de la distribución de la demanda durante el tiempo de entrega es:

$$\sigma_{dLT} = \sqrt{\sigma_d^2 L} = \sigma_d \sqrt{L}$$

La figura 9.11 muestra cómo se desarrolla la distribución de la demanda en el tiempo de entrega a partir de las distribuciones individuales de las demandas semanales, donde $\bar{d} = 75$, $\sigma_d = 15$ y $L = 3$. En este ejemplo, la demanda promedio durante el tiempo de entrega es (75)(3) = 225 unidades y $\sigma_{dLT} = 15\sqrt{3} = 25.98$.

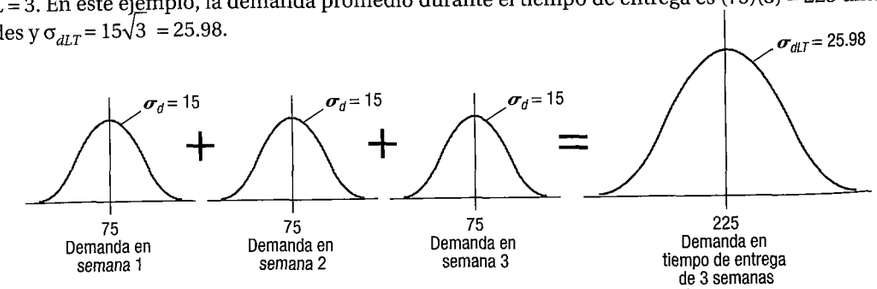
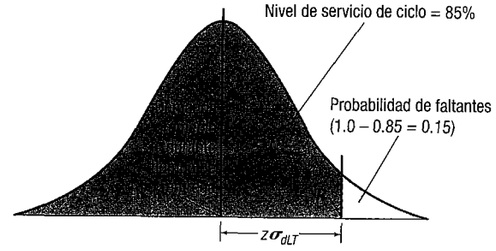


FIGURA 9.11 ▶
Desarrollo de la distribución de la demanda durante el tiempo de entrega

Paso 3: inventario de seguridad y punto de reorden Al seleccionar el inventario de seguridad, quien planea el inventario con frecuencia supone que la demanda durante el tiempo de entrega tiene distribución normal, como se muestra en la figura 9.12.

La demanda promedio durante el tiempo de entrega es la línea central de la gráfica, con 50% del área bajo la curva a la izquierda y 50% a la derecha. Así, si se elige un nivel de servicio del ciclo de 50%, el punto de reorden *R* sería la cantidad representada por esta línea central. Como *R* es igual a la demanda promedio durante el tiempo de entrega más el inventario de seguridad, el inventario de seguridad es igual a 0 cuando *R* es igual a esta demanda promedio. La demanda es menor que el promedio el 50% del tiempo, por lo que no tener inventario de seguridad será solo el 50% del tiempo.



▲ FIGURA 9.12
Cálculo del inventario de seguridad con la distribución normal de probabilidad para 85% de nivel de servicio de ciclo

Para proporcionar un nivel de servicio arriba de 50%, el punto de reorden debe ser más alto que la demanda promedio durante el tiempo de entrega. Como lo muestra la figura 9.12, esto requiere mover el punto de reorden a la derecha de la línea central para que más de 50% del área bajo la curva esté a la izquierda de *R*. Un nivel de servicio de ciclo de 85% se logra en la figura 9.12 con 85% del área bajo la curva a la izquierda de *R* (en gris oscuro) y solo 15% a la derecha (en gris claro). Calculamos el inventario de seguridad como sigue:

$$\text{Inventario de seguridad} = z\sigma_{dLT}$$

donde:

z = número de desviaciones estándar necesarias para lograr el nivel de servicio de ciclo

σ_{dLT} = desviación estándar de la demanda durante el tiempo de entrega

$$R = \bar{d}L + \text{inventario de seguridad}$$

Cuanto más alto es el valor de z, mayor será el inventario de seguridad y el nivel de servicio de ciclo. Si $z = 0$, no hay inventario de seguridad y los faltantes ocurrirán durante 50% de los ciclos de la orden. Para un nivel de servicio de 85%, $z = 1.04$. El ejemplo 9.5 muestra cómo usar el apéndice de la distribución normal para encontrar el valor de z, el inventario de seguridad y el punto de reorden apropiados.

EJEMPLO 9.5 Punto de reorden para demanda variable y tiempo de entrega constante

Regresemos al comedero para aves del ejemplo 9.3. El EOQ es 75 unidades. Suponga que la demanda promedio es 18 unidades por semana con desviación estándar de cinco unidades. El tiempo de entrega es constante en dos semanas. Determine el inventario de seguridad y el punto de reorden si la administración quiere un nivel de servicio de ciclo de 90 por ciento.

MyOMLab
El tutor 9.3 en MyOMLab proporciona un nuevo ejemplo para determinar el inventario de seguridad y el punto de reorden para un sistema *Q*.

SOLUCIÓN

En este caso, $\sigma_d = 5$, $\bar{d} = 18$ unidades y $L = 2$ semanas, de manera que $\sigma_{dLT} = \sigma_d\sqrt{L} = 5\sqrt{2} = 7.07$. Consulte el cuerpo de la tabla en el apéndice de la distribución normal para 0.9000, que corresponde a 90% de nivel de servicio en el ciclo. El número más cercano es 0.8997, que corresponde al de 1.2 y la columna de 0.08. Sumando estos valores se obtiene un valor de *z* de 1.28. Con esta información, calculamos el inventario de seguridad y el punto de reorden como sigue:

$$\text{Inventario de seguridad} = z\sigma_{dLT} = 1.28(7.07) = 9.05 \text{ o } 9 \text{ unidades}$$

$$\text{Punto de reorden} = \bar{d}L + \text{inventario de seguridad}$$
$$= 2(18) + 9 = 45 \text{ unidades}$$

PUNTO DE DECISIÓN

El sistema *Q* para el comedero de aves opera como sigue: siempre que la posición del inventario llega a 45 unidades, se ordena el EOQ de 75 unidades. Se pueden usar diferentes cantidades a ordenar y niveles de inventario de seguridad en un sistema *Q*. Por ejemplo, la administración puede especificar lotes diferentes (debido a restricciones de envío) o un inventario de seguridad distinto (debido a limitaciones de almacén).

Selección del punto de reorden cuando ambos, demanda y tiempo de entrega, son variables En la práctica, a menudo ocurre que tanto la demanda como el tiempo de entrega son variables. Desafortunadamente, las ecuaciones para el inventario de seguridad y el punto de reorden se complican. En el modelo siguiente hacemos dos suposiciones de simplificación. Primero, que la distribución de la demanda y la distribución del tiempo de entrega se miden en las mismas unidades de tiempo. Por ejemplo, la demanda y los tiempos de entrega se miden en semanas. Segundo, la demanda y el tiempo de entrega son *independientes*. Esto es, el tiempo de entrega no afecta la demanda semanal.

Inventario de seguridad = $z\sigma_{dLT}$

R= (demanda promedio semanal × tiempo de entrega promedio en semanas) + inventario de seguridad

= $\bar{d}\bar{L}$ + inventario de seguridad

donde:

$\bar{d}$ = demanda promedio semanal (o diaria o mensual)

L = tiempo de entrega promedio semanal (o diario o mensual)

σ_d = desviación estándar de la demanda semanal (o diaria o mensual)

σ_{LT} = desviación estándar del tiempo de entrega

$$\sigma_{dLT} = \sqrt{\bar{L}\sigma_d^2 + \bar{d}^2\sigma_{LT}^2}$$

Una vez determinadas la media y la desviación estándar de la distribución de la demanda durante el tiempo de entrega con estas condiciones más complicadas, podemos seleccionar el punto de reorden como lo hicimos antes para el caso del tiempo de entrega constante.

EJEMPLO 9.6 Punto de reorden para demanda y tiempos de entrega variables

La tienda Office Supply Shop estima que la demanda promedio para un bolígrafo popular es de 12,000 plumas por semana con una desviación estándar de 3,000 plumas. La política de inventarios actual indica órdenes de abastecimiento de 156,000 plumas. El tiempo de entrega promedio del distribuidor es cinco semanas con desviación estándar de dos semanas. Si la administración quiere 95% del nivel de servicio de ciclo, ¿cuál debe ser el punto de reorden?

SOLUCIÓN

Tenemos $\bar{d}$ = 12,000 plumas, σ_d = 3,000 plumas, $\bar{L}$ = 5 semanas y σ_{LT} = 2 semanas.

$$\sigma_{dLT} = \sqrt{\bar{L}\sigma_d^2 + \bar{d}^2\sigma_{LT}^2} = \sqrt{(5)(3{,}000)^2 + (12{,}000)^2(2)^2} = 24{,}919.87 \text{ plumas}$$

Consulte el cuerpo del apéndice de la distribución normal para 0.9500, que corresponde a 95% del nivel de servicio. Ese valor cae justo en medio de los valores de la tabla 0.9495 (con valor de z de 1.64) y 0.9505 (con valor de z de 1.65). Por lo tanto, se usa el valor más conservador de 1.65. Calculamos el inventario de seguridad y el punto de reorden como sigue:

Inventario de seguridad = $z\sigma_{dLT}$ = (1.65) (24,919.87) 47,117.79 o 41,118 plumas

Punto de reorden = $\bar{d}\bar{L}$ + Inventario de seguridad =(12,000) (5) + 41,118 = 101,118 plumas

PUNTO DE DECISIÓN

Siempre que la reserva de plumas baja de 101,118, la administración debe colocar otra orden de reabastecimiento de 156,000 plumas con el distribuidor.

Algunas veces, las distribuciones teóricas para la demanda y los tiempos de entrega no se conocen. En esos casos, podemos utilizar simulación para encontrar la distribución de la demanda durante los tiempos de entrega usando distribuciones discretas para las dos variables. La simulación también se puede usar para estimar el desempeño del sistema de inventarios. Encontrará más detalles y un ejemplo en MyOMLab.

MyOMLab

Sistema de dos contenedores El concepto de un sistema Q se puede incorporar en un **sistema visual**, es decir, un sistema que permita a los empleados colocar órdenes cuando el inventario llega a una marca visible. Es sencillo administrar los sistemas visuales porque no se mantienen registros de la posición actual del inventario. La tasa de utilización histórica puede reconstruirse sencillamente a partir de las órdenes de compra pasadas. Los sistemas visuales están diseñados para usarse con valores bajos del SKU que tiene una demanda estable, como tornillos y tuercas o suministros de oficina. Es común sobrealmacenar, pero el costo de mantener el inventario adicional es mínimo porque los artículos son de valor relativamente pequeño.

sistema visual
Un sistema que indica a los empleados colocar órdenes cuando el inventario llega a cierta marca visible.

Una versión de sistema visual del sistema Q es el **sistema de dos contenedores** en el que el inventario de un SKU se guarda en dos lugares diferentes. Primero se agota el inventario de un contenedor. Si el primer contenedor está vacío, el segundo proporciona el respaldo para cubrir la demanda hasta que llega la orden de reabastecimiento. Un primer contenedor vacío indica la necesidad de colocar una nueva orden. Las órdenes previamente hechas se colocan cerca de los contenedores para que los trabajadores envíen una a compras o incluso directamente al proveedor. Cuando llega la nueva orden, el segundo contenedor se regresa a su nivel normal y el resto se pone en el primer contenedor. El sistema de dos contenedores funciona como un sistema Q, donde el nivel normal en el segundo contenedor es el punto de reorden R. El sistema también se puede implementar con solo un contenedor poniendo una marca en el nivel del punto de reorden.

sistema de dos contenedores
Versión de sistema visual del sistema Q en el que el inventario de un SKU se guarda en dos lugares distintos.

Cálculo de los costos totales del sistema Q Los costos totales para el sistema de revisión continua (Q) es la suma de tres componentes de costo:

Costo total = costo anual de mantener inventario de ciclo + costo anual de ordenar + costo anual de mantener inventario de seguridad

$$C = \frac{Q}{2}(H) + \frac{D}{Q}(S) + (H)(\text{inventario de seguridad})$$

El costo anual de mantener el inventario de ciclo y el costo anual de ordenar son las mismas ecuaciones que se utilizaron para calcular el costo total anual de inventario de ciclo en el ejemplo 9.2. El costo anual de mantener el inventario de seguridad se calcula con la suposición de que el inventario de seguridad está disponible en todo momento. Respecto a la figura 9.10 en cada ciclo de órdenes, se puede experimentar una demanda mayor que la demanda promedio durante el tiempo de entrega, y algunas veces se experimenta una demanda menor. En promedio, en el año, podemos suponer que el inventario de seguridad estará disponible. Vea en los problemas resueltos 4 y 6 al final del capítulo cómo calcular los costos totales para un sistema Q.

Sistema de revisión periódica

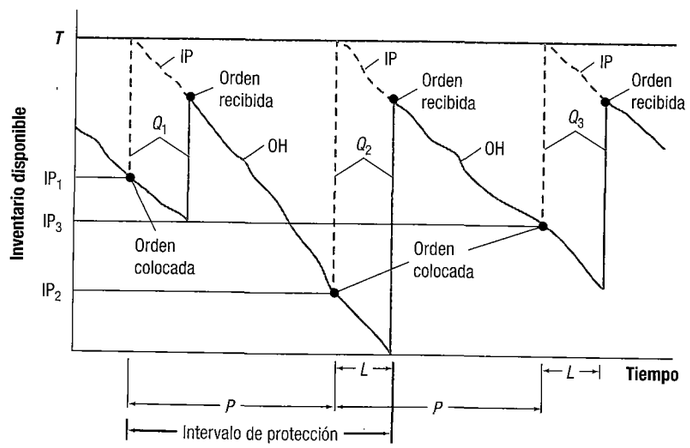
Un sistema de control de inventarios alternativo es el **sistema de revisión periódica (*P*)**, llamado algunas veces *sistema de reorden de intervalo fijo* o *sistema de reorden periódico*, en el cual la posición del inventario de un artículo se revisa en forma periódica en lugar de continua. Este sistema puede simplificar la programación de entregas porque establece una rutina. Una nueva orden se coloca al final de cada revisión y el tiempo entre órdenes (TBO) se fija en P. La demanda es una variable aleatoria, de modo que la demanda total entre revisiones varía. En un sistema P, el tamaño de lote, Q, puede cambiar de una orden a otra, pero el tiempo entre órdenes está fijo. Un ejemplo de sistema de revisión periódica es el de un proveedor de refrescos que hace rondas semanales a las tiendas de abarrotes. Cada semana, el proveedor revisa el inventario de refrescos de la tienda y reabastece con suficientes artículos para cumplir los requerimientos de demanda e inventario de seguridad hasta la siguiente semana.

sistema de revisión periódica *(P)*
Sistema en el que la posición de inventario de un artículo se revisa en forma periódica en lugar de continua.

Con el sistema P, cuatro de las suposiciones originales de EOQ se mantienen: **1.** no hay restricciones en el tamaño del lote, **2.** los costos relevantes son los costos de mantener o de ordenar, **3.** las decisiones para un SKU son independientes de las decisiones para otro SKU, y **4.** los tiempos de entrega son ciertos y los suministros conocidos. Sin embargo, permite incertidumbre en la demanda. La figura 9.13 presenta el sistema de revisión periódica con estas suposiciones. La línea con pendiente hacia abajo de nuevo representa el inventario disponible. Cuando transcurre el tiempo predeterminado, P, desde la última revisión, se coloca una orden para que la posición del inventario, representada por la línea punteada, suba al nivel de inventario, T. El tamaño del lote para la primera revisión es Q_1, o la diferencia entre la posición del inventario IP_1 y T. Al igual que con el sistema de revisión continua, IP y OH difieren solo durante el tiempo de entrega. Cuando llega la orden al final del tiempo de entrega, OH e IP de nuevo son idénticos. La figura 9.13 ilustra que los tamaños de lote varían de un ciclo de orden al siguiente. Como la posición del inventario es menor en la segunda revisión, se necesita una cantidad mayor para lograr el nivel de inventario T.

La práctica administrativa 9.1 muestra la importancia de los sistemas de revisión periódica en las cadenas de suministro en la industria química.

▼ **FIGURA 9.13**
Sistema P cuando la demanda es incierta



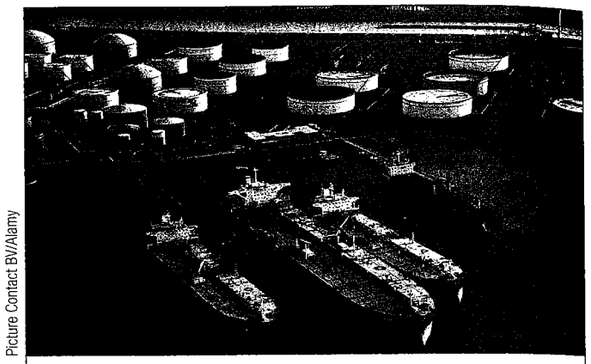
PRÁCTICA ADMINISTRATIVA 9.1 Implicaciones de la cadena de suministro para los sistemas de revisión periódica en Celanese

¿Qué tienen en común los productos como pinturas, adhesivos, revestimientos, plásticos, medicamentos, cosméticos, detergentes, textiles o fragancias? Todos utilizan ácido acético como su componente principal. Celanese, una compañía química de $6,500 millones con $640 millones en inventarios totales, es un proveedor importante de ácido acético en el mundo. La gran inversión en inventario fuerza a Celanese a analizar con cuidado sus políticas de inventarios para todos los productos, incluso el ácido acético. La clave para una administración exitosa de los inventarios era reconocer la interacción entre las políticas de inventarios en cada etapa de la cadena de suministro con las realidades de los flujos de materiales y la logística en la industria química.

La cadena de suministro para el ácido acético es compleja, incluye 90 etapas. Por ejemplo, la cadena de suministro está compuesta de etapas como vendedores que suministran un recubrimiento para transportar el ácido, fábricas que producen el ácido, modos de transporte del ácido, almacenes que lo guardan y lugares de demanda de clientes a los que el ácido finalmente se envía. Hay cuatro instalaciones para fabricación, tres de ellas en Estados Unidos y una en Singapur, cada una de las cuales surte varios centros de almacenaje en todo el mundo. Las etapas de transporte corresponden a ferrocarril, barcazas, camiones y barcos marítimos. Usualmente el material se mueve en grandes cantidades debido a las economías de escala y los itinerarios de transporte. Las instalaciones de almacenaje pueden ser proporcionadas por múltiples edificaciones en la cadena, al igual que las plantas de manufactura.

El uso de los sistemas de revisión periódica en los almacenes y los lugares de demanda en este escenario de cadena de suministro tiene sentido por varias razones. Primero, los modos de transporte tienen programas definidos de operación. Los periodos de revisión en los almacenes reflejan los programas de los modos de transporte. Segundo, las órdenes de los clientes se hacen en lotes y tienen frecuencias semanales, quincenales o mensuales. Celanese suele asignar a clientes y almacenes días específicos para colocar las órdenes para que sus propios programas de producción se puedan coordinar. Por último, las órdenes cíclicas suelen ser una función de la intensidad de capital en la industria. Se programan corridas de producción grandes para obtener eficiencia en la producción; es costoso preparar el equipo para otro producto.

Especificar el mejor periodo de revisión y los niveles de inventario meta para las diferentes etapas de la cadena de suministro requiere modelos matemáticos elaborados. Sin importar el esfuerzo requerido, es importante reconocer las implicaciones de la cadena de suministro cuando se determinan las políticas de inventarios.



Picture Contact BV/Alamy

Los modos de transporte grandes con capacidad fija deben definir sus programas de operación. Esta situación apoya el uso de sistemas de inventarios de revisión periódica. En la foto, los buques esperan las cargas de petroquímicos en la terminal Vopak en el puerto de Rotterdam.

Fuentes: John M. Bossert y Sean P. Williams, "A Periodic-Review Modeling Approach for Guaranteed Service Supply Chains", *Interfaces*, vol. 37, núm. 5 (septiembre/octubre, 2007), pp. 420-435; **http://finance.yahoo.com; www.Celanese.com**, 2008.

EJEMPLO 9.7 Determinación de cuánto ordenar en un sistema *P*

Un centro de distribución tiene una orden atrasada de cinco aparatos de televisión LCD de 46 pulgadas. No hay inventario disponible y ahora es momento de revisión. ¿Cuántos aparatos deben reordenar si $T = 400$ y no hay entregas programadas?

SOLUCIÓN

$$IP = OH + SR - BO$$
$$= 0 + 0 - 5 = -5 \text{ aparatos}$$
$$T - IP = 400 - (-5) = 405 \text{ aparatos}$$

Esto es, deben ordenarse 405 aparatos para que la posición del inventario llegue a T aparatos.

Selección del tiempo entre revisiones Para operar un sistema P, los administradores deben tomar dos decisiones: el tiempo entre revisiones, P, y el nivel meta del inventario, T. Primero consideramos el tiempo entre revisiones, P. Puede ser cualquier intervalo conveniente, como cada viernes o cada dos viernes. Otra opción es basar P en el costo de equilibrio del EOQ. En otras palabras, P puede establecerse igual al tiempo promedio entre las órdenes para el lote económico o TBO_{EOQ}. Como la demanda es variable, algunas órdenes serán más grandes que el EOQ y otras serán más pequeñas. No obstante, para periodos largos, el tamaño de lote promedio será cercano al EOQ. Si se usan otros modelos para determinar el tamaño del lote (por ejemplo, los descritos en el suplemento C, "Modelos especiales de inventarios"), dividimos el tamaño de lote seleccionado entre la demanda anual, D, y utilizamos esta razón como P. Se expresará como fracción de un año entre órdenes, que se convierte en meses, semanas o días, según se necesite.

Selección del nivel meta del inventario cuando la demanda es variable y el tiempo de entrega es cons-tante Ahora se calculará el nivel meta del inventario, T, cuando la demanda varía pero el tiempo de entrega es constante. La figura 9.13 revela que una orden debe ser suficientemente grande para que la posición del inventario, IP, dure hasta la siguiente revisión, que es en P periodos. El revisor debe esperar P periodos para revisar, corregir y reestablecer la posición del inventario. Luego, se coloca una nueva orden, pero no llega hasta después del tiempo de entrega, L. Por tanto, como ilustra la figura 9.13, se necesita un intervalo de protección de $P + L$ periodos. Una diferencia fundamental entre los sistemas Q y P es la longitud del tiempo necesario de protección contra faltantes. Un sistema Q necesita protección solo durante el tiempo de entrega porque las órdenes se pueden colocar en cuanto se requieren y se reciben L periodos después. Sin embargo, un sistema P necesita protección contra faltantes un intervalo más largo de $P + L$ porque las órdenes se colocan solo a intervalos fijos y el inventario no se revisa sino hasta el siguiente tiempo de revisión establecido.

Del mismo modo que en el sistema Q, debemos desarrollar la distribución apropiada de la demanda durante el intervalo de protección para especificar el sistema completo. En un sistema P debemos encontrar la distribución de la demanda para los periodos $P + L$. El nivel meta del inventario T debe ser igual a la demanda esperada durante el intervalo de protección de $P + L$ periodos más suficiente inventario de seguridad como protección contra la incertidumbre en este mismo intervalo. Suponemos que el tiempo de entrega es constante y que la demanda de un periodo es independiente de la demanda en el siguiente. Así, la demanda promedio durante el intervalo de protección es $\bar{d}(P + L)$, o sea,

$$T = \bar{d}(P + L) + (\text{inventario de seguridad para el intervalo de protección})$$

Calculamos el inventario de seguridad para un sistema P de manera muy parecida que para el sistema Q. Sin embargo, el inventario de seguridad debe cubrir la incertidumbre de la demanda por un periodo más largo. Cuando se usa la distribución de probabilidad normal, se multiplican las desviaciones estándar deseadas para implementar el nivel de servicio del ciclo, z, por la desviación estándar de la demanda durante el intervalo de protección σ_{P+L}. El valor de z es igual que en el sistema Q con el mismo nivel de servicio. Así,

$$\text{Inventario de seguridad} = z\sigma_{P+L}$$

Con base en la lógica expuesta para calcular σ_{dLT}, sabemos que la desviación estándar de la distribución de la demanda durante el intervalo de protección es:

$$\sigma_{P+L} = \sigma_d\sqrt{P + L}$$

Como un sistema P requiere un inventario de seguridad que cubra la incertidumbre de la demanda un periodo más largo que un sistema Q, el sistema P requiere más inventario de seguridad; esto es, σ_{P+L} excede a σ_{dLT}. Entonces, para obtener la ventaja de un sistema P se requiere que los niveles totales de inventario sean algo más altos que los de un sistema Q.

EJEMPLO 9.8 Cálculo de *P* y *T*

De nuevo regresemos al ejemplo del comedero para aves. Recuerde que la demanda de comederos tiene distribución normal con media de 18 unidades por semana y una desviación estándar en la demanda semanal de cinco unidades. El tiempo de entrega es dos semanas y el negocio opera 52 semanas al año. El sistema Q desarrollado en el ejemplo 9.5 indica un EOQ de 75 unidades y un inventario de seguridad de nueve unidades para 90% de nivel de servicio del ciclo. ¿Cuál es el sistema P equivalente? Las respuestas deben redondearse al entero más cercano.

SOLUCIÓN

Primero definimos D y luego P. En este caso, P es el tiempo entre revisiones, expresado en semanas porque los datos están expresados como demanda *por semana:*

$$D = (18 \text{ unidades/semana})\,(52 \text{ semanas/año}) = 936 \text{ unidades}$$

$$P = \frac{EOQ}{D}(52) = \frac{75}{93}(52) = 4.2 \text{ o } 4 \text{ semanas}$$

Con $\bar{d} = 18$ unidades por semana, un enfoque alternativo es calcular P dividiendo el EOQ entre $\bar{d}$ para obtener $75/18 = 4.2$, o 4 semanas. De cualquier manera, revisaríamos el inventario de comederos cada cuatro semanas. Ahora podemos encontrar la desviación estándar de la demanda en el periodo de protección ($P + L = 6$):

$$\sigma_{P+L} = \sigma_d\sqrt{P + L} = 52\sqrt{6} = 12.25 \text{ unidades}$$

MyOMLab

El tutor 9.4 de MyOMLab proporciona un nuevo ejemplo para determinar el intervalo de revisión y el inventario meta para un sistema *P*.

Antes de calcular T, también necesitamos un valor z. Para 90% de nivel de servicio de ciclo, $z = 1.28$ (véase el apéndice de la distribución normal). El inventario de seguridad se convierte en

$$\text{Inventario de seguridad} = z\sigma_{P+L} = 1.28\ (12.25) = 15.68 \quad \text{o} \quad 16 \text{ unidades}$$

Ahora encontramos T:

T = demanda promedio durante intervalo de protección + inventario de seguridad

$= \bar{d}\,(P + L)$ + inventario de seguridad

= (18 unidades/semana) (6 semanas) + 16 unidades = 124 unidades

PUNTO DE DECISIÓN

Cada cuatro semanas se ordena el número de unidades necesarias para elevar la posición del inventario IP (contando la nueva orden) al nivel de inventario meta de 124 unidades. El sistema *P* requiere 16 unidades de inventario de seguridad, mientras que el sistema Q solo necesita 9 unidades. Si el costo fuera el único criterio, el sistema *Q* sería la opción para los comederos para aves. Como se dijo, otros factores pueden influir la decisión en favor del sistema *P*.

Selección del nivel meta del inventario cuando la demanda y el tiempo de entrega son variables Un enfoque útil para encontrar P y T en la práctica es la simulación. Dadas las distribuciones de probabilidad discretas para la demanda y el tiempo de entrega, se puede aplicar la simulación para estimar la demanda durante la distribución del periodo de protección. El simulador de la demanda, *Demand During the Protection Interval Simulator*, en OM Explorer puede utilizarse para determinar la distribución. Una vez determinada, la distribución se utiliza para seleccionar el valor de T, dado el nivel de servicio de ciclo deseado. Más detalles y un ejemplo se pueden encontrar en MyOMLab.

MyOMLab

sistema de un contenedor

Sistema de control de inventarios en el que el nivel máximo está marcado en los anaqueles del almacén o en el contenedor y el inventario se eleva a la marca periódicamente.

Sistema de un contenedor El concepto de un sistema *P* se puede traducir en un sistema visual sencillo de control de inventarios. En el **sistema de un contenedor**, se marca un nivel máximo en el anaquel del almacén o en el contenedor y periódicamente se eleva el inventario hasta la marca, digamos, cada semana. El contenedor sería, por ejemplo, un tanque de almacenamiento de gasolina en una estación de servicio, o un contenedor para guardar partes pequeñas en una fábrica.

Cálculo de los costos totales del sistema *P* El costo total para el sistema *P* es la suma de los mismos tres elementos de costo que en el sistema *Q*. Las diferencias están en el cálculo de la cantidad a ordenar y el inventario de seguridad. Como se muestra en la figura 9.13, la cantidad promedio a ordenar será el consumo promedio del inventario durante los periodos *P* entre órdenes. En consecuencia, $Q = \bar{d}P$. Los costos totales del sistema *P* son

$$C = \frac{\bar{d}P}{2}(H) + \frac{D}{\bar{d}P}(S) + (H)(\text{inventario de seguridad})$$

El problema resuelto 5 al final de este capítulo es un ejemplo de cómo calcular el costo total del sistema *P*.

Ventajas comparativas de los sistemas *P* y *Q*

Ninguno de los sistemas *P* o *Q* es mejor para todas las situaciones. Tres ventajas del sistema *P* se compensan con tres ventajas del sistema *Q*. Las ventajas de un sistema son desventajas implícitas del otro.

La ventaja principal de los sistemas *P* son las siguientes:

1. El sistema es conveniente porque los reabastecimientos ocurren a intervalos fijos. Los intervalos de reabastecimiento permiten que haya tiempos de recepción y entrega estandarizados.
2. Las órdenes de múltiples artículos del mismo proveedor se pueden combinar en una sola orden de compra. Este enfoque reduce los costos de ordenar y de transporte y puede obtenerse algún descuento del proveedor.
3. La posición del inventario, IP, debe conocerse solo cuando se hace una revisión (no continuamente como en el sistema *Q*). Sin embargo, esta ventaja es discutible para empresas que usan sistemas de registros computarizados, en los que una transacción se reporta en cuanto hay una entrada o un retiro. Cuando los registros de inventarios están siempre al día, el sistema se llama **sistema de inventario perpetuo**.

sistema de inventario perpetuo

Sistema de control de inventarios en el que los registros de inventario siempre están al corriente.

Las ventajas principales de los sistemas *Q* son las siguientes:

1. La frecuencia de la revisión de cada SKU puede individualizarse. Una frecuencia de revisión a la medida de cada SKU podría reducir el costo total de ordenar y mantener.

2. El resultado de tamaños de lote fijos, si son suficientemente grandes, puede ser un descuento por cantidad. Las limitaciones físicas de la empresa, como la capacidad de sus camiones, los métodos de manejo de materiales y el espacio en anaqueles también quizá requieran un tamaño de lote fijo.
3. Los inventarios de seguridad menores significan ahorros.

En conclusión, la elección entre los sistemas *Q* y *P* no tiene una regla. Cuál sistema es el mejor depende de la importancia relativa de sus ventajas en cada situación.

Sistemas híbridos

Varios sistemas de control de inventarios unen algunas, pero no todas, características de los sistemas *P* y *Q*. Examinamos brevemente dos de estos sistemas: **1.** reabastecimiento opcional y **2.** inventario base.

sistema de reabastecimiento opcional

Sistema que utiliza la revisión de la posición del inventario a intervalos fijos y, si la posición ha bajado a un nivel predeterminado (o más abajo), se coloca una orden de tamaño variable para cubrir las necesidades esperadas.

Sistema de reabastecimiento opcional Algunas veces llamado de revisión opcional, min–max o *sistema (s, S)*, el **sistema de reabastecimiento opcional** se parece mucho al sistema *P*. Se utiliza para revisar la posición del inventario a intervalos fijos y, si la posición del inventario ha bajado de un nivel predeterminado, se coloca una orden de tamaño variable para cubrir las necesidades esperadas. La nueva orden es suficientemente grande para elevar la posición del inventario al nivel meta, similar al *T* para el sistema *P*. Sin embargo, no se colocan órdenes después de la revisión a menos que la posición del inventario esté en el nivel mínimo predeterminado. El nivel mínimo actúa como el punto de reorden *R* en el sistema *Q*. Si la meta es 100 y el nivel mínimo es 60, el tamaño mínimo de orden es 40 (100 – 60). Como no requiere revisión continua, este sistema es en particular atractivo cuando los costos de revisar y ordenar son altos.

sistema de inventario base

Sistema de control de inventarios que emite una orden de reabastecimiento, Q, cada vez que se hace un retiro, por la misma cantidad que se retiró.

Sistema de inventario base En su forma más simple, el **sistema de inventario base** emite una orden de reabastecimiento, *Q*, cada vez que se hace un retiro, por la misma cantidad del retiro. Esta política de reemplazo "uno por uno" mantiene la posición del inventario en el nivel base que es igual a la demanda esperada durante el tiempo de entrega más el inventario de seguridad. El nivel de inventario base es entonces equivalente al punto de reorden en el sistema *Q*, pero las cantidades a ordenar ahora varían para mantener la posición del inventario en *R* todo el tiempo. Como esta posición es la IP más baja posible que mantendrá el nivel de servicio especificado, el sistema de inventario base se puede utilizar para minimizar el inventario de ciclo. Se colocan más órdenes, pero cada una es pequeña. Este sistema es apropiado para artículos costosos, como los motores para jet. No se mantiene más inventario que la demanda máxima esperada hasta que una orden de reabastecimiento se recibe.

REPASO DE LAS METAS DE APRENDIZAJE

1. **Identificar las ventajas, desventajas y costos de mantener un inventario.** Se cubrieron estos importantes aspectos de los inventarios en la sección "El inventario y las cadenas de suministro"(pp. 309-314). Piense en las presiones para inventarios pequeños o grandes y en la figura 9.1.
2. **Definir los tipos de inventarios y los papeles que tienen en las cadenas de suministro.** La sección "Tipos de inventarios" (pp. 311-313) explica cada tipo de inventario y da un ejemplo en la figura 9.2. El ejemplo 9.1 y el problema resuelto 1 muestran cómo estimar los niveles de inventarios.
3. **Explicar las tácticas básicas para reducir inventarios en las cadenas de suministro.** Vea en la sección "Tácticas para reducir inventarios" (pp. 313-314), sobre enfoques importantes para administrar los niveles de inventarios.
4. ***Determinar los artículos que merecen más atención y control* de inventario más estricto.** La sección "Análisis ABC" (pp. 314-315) muestra un enfoque sencillo para clasificar los artículos en inventario para facilitar la supervisión administrativa. La figura 9.4 contiene un ejemplo. El problema resuelto 2 muestra los cálculos.
5. **Calcular el lote económico y aplicarlo a varias situaciones.** Vea un análisis completo del modelo EOQ en la sección "Lote económico", pp. 315-319. Observe las figuras 9.5 a 9.7 para ver cómo afecta el modelo EOQ los niveles de inventario con las suposiciones estándar y la manera en que se puede obtener la solución de menor costo en ese modelo. Revise los ejemplos 9.2 y 9.3 y el problema resuelto 3 que le ayudan en el cálculo de los costos totales para varios tamaños de lote. La tabla 9.1 revela información importante para el administrador del modelo EOQ.
6. **Determinar el lote económico y el punto de reorden para un sistema de control de inventarios de revisión continua.** La sección "Sistema de revisión continua" (pp. 320-325) desarrolla la esencia del sistema *Q* a partir de principios básicos para suposiciones más realistas. Asegúrese de comprender las figuras 9.10 a 9.12. Los ejemplos 9.4 a 9.6 y los problemas resueltos 4 a 6 muestran cómo determinar los parámetros *Q* y *R* con diferentes suposiciones.
7. **Determinar el intervalo de revisión y el nivel de inventario meta para un sistema de control de inventarios de revisión periódica.** Resumimos los conceptos clave en las sección "Sistema de revisión periódica" (pp. 325-328). La figura 9.13 presenta el funcionamiento de un sistema *P*, mientras que los ejemplos 9.7 y 9.8 y el problema resuelto 5 muestran cómo calcular los parámetros *P* y *T*.
8. **Definir los factores clave que determinan la elección apropiada de un sistema de inventarios.** Vea la sección "Ventajas comparativas de los sistemas *Q* y *P*" (pp. 328-329).

MyOMLab le ayuda a desarrollar habilidades analíticas y evalúa su avance con varios problemas de inventario de ciclo, inventario en tránsito, inventario de seguridad, rotación de inventario, semanas de abastecimiento, valor de inventario agregado, tiempo entre órdenes, cantidad óptima a ordenar, EOQ, intervalo óptimo entre órdenes, punto de reorden, demanda durante el tiempo de entrega, nivel de servicio del ciclo, inventario meta *T* y *P*.

Recursos de MyOMLab	Títulos	Vínculos con el libro
Video	*Inventarios y libros de texto*	*Todo el capítulo*
Modelo activo	9.1 Lote económico	Lote económico; ejemplo 9.3 (p. 318); Ejercicio de modelo activo (p. 341)
Solvers de OM Explorer	Diseño de sistemas de inventario	Sistemas de control de inventarios; ejemplo 9.3 (p. 318); ejemplo 9.8 (pp. 327-328); problema resuelto 3 (p. 334); problema resuelto 4 (pp. 334-335); problema resuelto 5 (p. 335); figura 9.15 (p. 335)
	Simulador de demanda durante el intervalo de protección	Selección de punto de reorden cuando la demanda y el tiempo de entrega son variables; selección del nivel meta de inventario cuando la demanda y el tiempo de entrega son variables
	Simulador de sistemas *Q*	Sistema de revisión continua
Tutores de OM Explorer	9.1 Estimación de niveles de inventario	Inventarios y la cadenas de suministro; ejemplo 9.1 (pp. 312-313); figura 9.13 (p. 313); problema resuelto 1 (p. 332)
	9.2 Análisis ABC	Análisis ABC; problema resuelto 2 (pp. 332-333); figura 9.14 (p. 333)
	9.3 Cálculo del EOQ y el costo total	Lote económico; ejemplo 9.3 (p. 318); figura 9.8 (p. 318); problema resuelto 4 (p. 334)
	9.4 Cálculo del inventario de seguridad y *R*	Sistema de revisión continua; ejemplo 9.5 (p. 323); problema resuelto 4 (pp. 334-335)
	9.5 Cálculo de *P* y *T*	Sistema de revisión periódica; ejemplo 9.8 (p. 327-328); problema resuelto 5 (p. 335)
POM para Windows	Modelo de lote económico (EOQ)	Lote económico; ejemplo 9.3 (p. 318); problema resuelto 3 (p. 334)
	Análisis ABC	Análisis ABC; problema resuelto 2 (pp. 332-333)
Ejercicios de tutores	9.1 Cálculo del EOQ, inventario de seguridad, *R, P, T* en la librería de Bison College	Lote económico; Sistemas de control de inventarios
Tutor de sistemas de administración de inventarios	Utilización de simulación para desarrollar sistemas de administración de inventarios	Selección del punto de reorden cuando la demanda y los tiempos de entrega son variables; Selección del nivel meta de inventario cuando la demanda y el tiempo de entrega son variables
Problemas avanzados	1. Simulación de una tienda de suministros para oficina	Sistema de revisión continua; Selección del punto de reorden cuando la demanda y el tiempo de entrega son variables
	2. Simulación de una tienda de abarrotes	Sistema de revisión periódica; Selección del nivel meta de inventario cuando la demanda y el tiempo de entrega son variables
	3. Simulación de una tienda de flores	Sistemas de revisión continua; Selección del punto de reorden cuando la demanda y el tiempo de entrega son variables
Tours virtuales	Stickley	Inventarios y las cadenas de suministro
	United Wood Treating	Todo el capítulo
Ejercicio en Internet	9.1 Round House	Inventarios y las cadenas de suministro
Simulación SimQuick	Sistemas de control de inventario	Sistema de revisión continua; Sistema de revisión periódica
Ecuaciones clave		
Biblioteca de imágenes		

Ecuaciones clave

1. Inventario de ciclo promedio: $\frac{Q}{2}$

2. Inventario en tránsito: $\bar{D}_L = \bar{d}L$

3. Costo total anual del inventario de ciclo = costo anual de mantener + costo anual de ordenar o preparar:

$$C = \frac{Q}{2}(H) + \frac{D}{Q}(S)$$

4. Lote económico:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2DS}{H}}$$

5. Tiempo entre órdenes, expresado en semanas

$$TBO_{EOQ} = \frac{EOQ}{D}(52\,\text{semanas/año})$$

6. Posición del inventario = inventario disponible + recepción programada – órdenes atrasadas

$$\text{IP} = \text{OH} + \text{SR} - \text{BO}$$

7. Sistema de revisión continua:

Intervalo de protección = tiempo de entrega (L)

Desviación estándar de la demanda en el tiempo de entrega (L constante) = $\sigma_{dLT} = \sigma_d\sqrt{L}$

Desviación estándar de la demanda en el tiempo de entrega (L variable) =

$$\sigma_{dLT} = \sqrt{\bar{L}\sigma_d^2 + \bar{d}^2\sigma_{LT}^2}$$

Inventario de seguridad = $z\sigma_{dLT}$

Punto de reorden (R) para tiempo de entrega constante = $\bar{d}L$ + + inventario de seguridad

Punto de reorden (R) para tiempo de entrega variable = $\bar{d}\bar{L}$ + inventario de seguridad

Cantidad a ordenar = EOQ

Regla de abastecimiento: ordenar EOQ unidades cuando IP $\leq R$

Costo total de sistema Q: $C = \frac{Q}{2}(H) + \frac{D}{Q}(S) + (H)(\text{inventario de seguridad})$

8. Sistema de revisión periódica:

Intervalo de revisión = tiempo entre órdenes = P

Intervalo de protección = tiempo entre órdenes + tiempo de entrega = $P + L$

Desviación estándar de la demanda en el intervalo de protección $\sigma_{P+L} = \sigma_d\sqrt{P+L}$

Inventario de seguridad = $z\sigma_{P+L}$

Nivel meta de inventario (T) = demanda promedio en intervalo de protección + inventario de seguridad

$$= \bar{d}(P+L) + \text{inventario de seguridad}$$

Cantidad a ordenar = nivel meta de inventario – posición de inventario = T – IP

Regla de abastecimiento: cada P periodos, ordenar T – IP unidades

Costo total del sistema P: $C = \frac{dP}{2}(H) + \frac{D}{dP}(S) + (H)(\text{inventario de seguridad})$

Términos clave

administración de inventario 308
análisis ABC 314
artículos con demanda independiente 319
productos terminados 311
conteo cíclico 315
costo de mantener inventario 309
costo de ordenar 310
costo de preparación 310
descuento por cantidad 311
faltante 310
fijar el tamaño del lote 311
intervalo de protección 322
inventario 309
inventario de ciclo 311
inventario de previsión 312
inventario de seguridad 312
inventario en tránsito 312
lote económico (EOQ) 315
materias primas (MP) 311
nivel de servicio 322
nivel de servicio de ciclo 322
orden atrasada 310
órdenes abiertas 320
posición del inventario (IP) 320
punto de reorden (*R*) 320
recepciones programadas (SR) 320
repetitividad 313
sistema de dos contenedores 325
sistema de inventario base 329
sistema de inventario perpetuo 328
sistema de punto de reorden (ROP) 320
sistema de reabastecimiento opcional 329
sistema de revisión continua (*Q*) 320
sistema de revisión periódica (*P*) 325
sistema de un contenedor 328
sistema visual 324
tamaño de lote 308
tiempo entre órdenes (TBO) 318
trabajo en proceso (WIP) 311
unidad que se mantiene en inventario (SKU) 314

Problema resuelto 1

Un centro de distribución tiene una demanda semanal de 50 unidades para uno de sus artículos. El producto tiene un valor de $650 por unidad. Los envíos que llegan del almacén de la fábrica son de 350 unidades promedio. El tiempo de entrega promedio (incluye retrasos en ordenar y tiempo en tránsito) es de dos semanas. El centro de distribución opera 52 semanas al año; mantiene una semana de inventario de seguridad y no tiene inventario de previsión. ¿Cuál es el valor del inventario promedio agregado que se mantiene en el centro de distribución?

SOLUCIÓN

Tipo de inventario	Cálculo del inventario promedio agregado	
Ciclo	$\frac{Q}{2} = \frac{350}{2}$	= 175 unidades
Inventario de seguridad	Abastecimiento de 1 semana	= 50 unidades
Previsión	Ninguno	
Tránsito	dL = (50 unidades/semana)(2 semanas)	= 100 unidades
	Inventario agregado promedio	= 325 unidades
	Valor del inventario agregado	= $650(325) = $211,250

Problema resuelto 2

Booker's Book Bindery divide sus SKU en tres clases, de acuerdo con su valor de uso. Calcule los valores de uso de los siguientes SKU y determine cuál es más probable que se clasifique en la clase A.

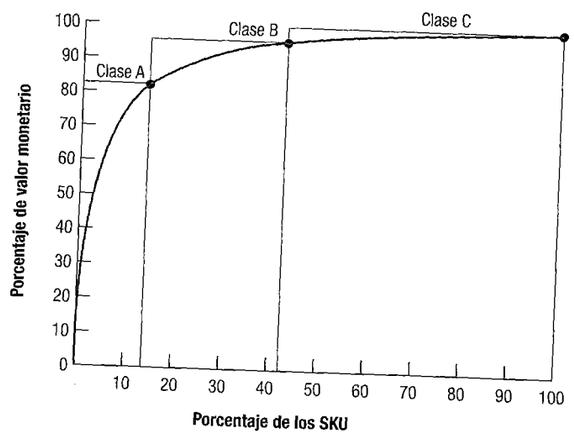
SOLUCIÓN

El valor en dólares anualmente de uso de cada SKU se determina multiplicando la cantidad de utilización anual por el valor por unidad. Como se muestra en la figura 9.14, después los SKU se clasifican por el valor de uso, en orden descendiente. Por último, las líneas de las clases A–B y B–C son burdas, según las guías presentadas en el texto del capítulo. En este caso, la clase A incluye solo un SKU (diseños) que representa 1/7 o 14% de los SKU pero da cuenta de 83% del valor de uso. La clase B incluye los siguientes dos SKU, que juntos representan 28% de los SKU y 13% del valor de uso. Los últimos cuatro SKU, la clase C, representa más de la mitad de los SKU, pero solo 4% del valor de uso.

Número del SKU	Descripción	Cantidad utilizada por año	Valor unitario ($)
1	Cajas	500	3.00
2	Cartón (pies cuadrados)	18,000	0.02
3	Cubiertas	10,000	0.75
4	Pegamento (galones)	75	40.00
5	Cubiertas interiores	20,000	0.05
6	Cinta adhesiva de refuerzo (metros)	3,000	0.15
7	Diseños	150,000	0.45

Número del SKU	Descripción	Cantidad utilizada por año		Valor unitario ($)		Valor de uso anual ($)
1	Cajas	500	X	3.00	=	1,500
2	Cartón (pies cuadrados)	18,000	X	0.02	=	360
3	Cubiertas	10,000	X	0.75	=	7,500
4	Pegamento (galones)	75	X	40.00	=	3,000
5	Cubiertas interiores	20,000	X	0.05	=	1,000
6	Cinta adhesiva de refuerzo (metros)	3,000	X	0.15	=	450
7	Diseños	150,000	X	0.45	=	67,500
					Total	81,310

SKU #	Descripción	Cantidad usada/año	Valor	Uso monetario	% del total	% acumulado de valor en $	acumulado de los SKU	Clase
7	Diseños	150,000	$0.45	$67,500	83.0%	83.0%	14.3%	A
3	Cubiertas	10,000	$0.75	$7,500	9.2%	92.2%	28.6%	B
4	Pegamento	75	$40.00	$3,000	3.7%	95.9%	42.9%	B
1	Cajas	500	$3.00	$1,500	1.8%	97.8%	57.1%	C
5	Cubiertas interiores	20,000	$0.05	$1,000	1.2%	99.0%	71.4%	C
6	Cinta adhesiva de refuerzo	3,000	$0.15	$450	0.6%	99.6%	85.7%	C
2	Cartón	18,000	$0.02	$360	0.4%	100.0%	100.0%	C
Total				$81,310				



◀ **FIGURA 9.14**
Valor de uso anual para los SKU clase A, B y C con el tutor 9.2

Problema resuelto 3

Nelson's Hardware Store almacena un taladro inalámbrico de 19.2 volts que se vende mucho. La demanda anual es de 5,000 unidades, el costo de ordenar es $15 y el costo de mantener inventario es $4/unidad/año.

a) ¿Cuál es el lote económico?

b) ¿Cuál es el costo total anual del inventario de este artículo?

SOLUCIÓN

a) El lote económico es:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(5{,}000)(\$15)}{\$4}} = \sqrt{37{,}500}$$

$$= 193.65 \text{ o } 194 \text{ taladros}$$

b) El costo total anual es:

$$C = \frac{Q}{2}(H) + \frac{D}{Q}(S) = \frac{194}{2}(\$4) + \frac{5{,}000}{194}(\$15) = \$774.60$$

Problema resuelto 4

Un distribuidor regional compra electrodomésticos descontinuados de varios proveedores y luego los vende por pedido a las tiendas de menudeo de la región. El distribuidor opera cinco días por semana, 52 semanas por año. Solo cuando está abierto puede recibir pedidos. La administración desea reevaluar su política de inventarios actual, que indica cantidades a ordenar de 440 batidoras. Se estimaron los siguientes datos para la batidora:

Demanda diaria promedio ($\bar{d}$) = 100 batidoras

Desviación estándar de la demanda diaria (σ_d) = 30 batidoras

Tiempo de entrega (L) = 3 días

Costo de mantener (H) = $9.40/unidad/año

Costo de ordenar (S) = $35/orden

Nivel de servicio de ciclo = 92%

El distribuidor usa un sistema de revisión continua (Q).

a) ¿Qué cantidad a ordenar, Q, y punto de reorden, R, debe usar?

b) ¿Cuál es el costo total anual del sistema?

c) Si el inventario disponible es 40 unidades, está pendiente una orden abierta de 440 batidoras y no existen órdenes atrasadas, ¿debe colocar una nueva orden?

SOLUCIÓN

a) La demanda anual es:

$$D = (5 \text{ días/sem})(52 \text{ sem/año})(100 \text{ batidoras/día}) = 26{,}000 \text{ batidoras/año}$$

La cantidad a ordenar es:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(26{,}000)(\$35)}{\$9.40}} = \sqrt{193{,}167} = 440.02 \text{ o } 440 \text{ batidoras}$$

La desviación estándar de la distribución de la demanda durante el tiempo de entrega es:

$$\sigma_{dLT} = \sigma_d\sqrt{L} = 30\sqrt{3} = 51.96$$

92% del nivel de servicio de ciclo corresponde a $z = 1.41$ (vea el apéndice de la distribución normal); por lo tanto,

Inventario de seguridad = $z\sigma_{dLT}$ = 1.41 (51.96 batidoras) = 73.26 o 73 batidoras

Demanda promedio en tiempo de entrega = $\bar{d}L$ = 100(3) = 300 batidoras

Punto de reorden (R) = demanda promedio en tiempo de entrega + inventario de seguridad

= 300 batidoras + 73 batidoras = 373 batidoras

Con un sistema de revisión continua, $Q = 440$ y $R = 373$.

b) El costo total anual para el sistema Q es:

$$C = \frac{Q}{2}(H) + \frac{D}{Q}(S) + (H)(\text{inventario de seguridad})$$

$$C = \frac{440}{2}(\$9.40) + \frac{26{,}000}{440}(35) + (\$9.40)(73) = \$4{,}822.38$$

c) Posición de inventario = inventario disponible + recepciones programadas – órdenes atrasadas

$$IP = OH + SR - BO = 40 + 440 - 0 = 480 \text{ batidoras}$$

Debido a que IP (480) excede R (373), no debe colocarse una nueva orden.

Problema resuelto 5

Suponga que se usa un sistema de revisión periódica (P) en el distribuidor del problema resuelto 4, pero excepto eso, los datos son los mismos.

a) Calcule P (en días de trabajo, redondeados al entero más cercano) que da aproximadamente el mismo número de órdenes por año que el EOQ.

b) ¿Cuál es el nivel de inventario meta, T? Compare el sistema P con el sistema Q del problema resuelto 4.

c) ¿Cuál es el costo total anual del sistema P?

d) Es tiempo de revisar el artículo. El inventario disponible es 40 batidoras; está programada la recepción de 440 batidoras y no hay órdenes atrasadas. ¿Cuánto debe ordenarse?

SOLUCIÓN

a) El tiempo entre órdenes es:

$$P = \frac{EOQ}{D}(260 \text{ días/año}) = \frac{440}{260{,}000}(260) = 4.4 \text{ o } 4 \text{ días}$$

b) La figura 9.15 muestra que T = 812 y el inventario de seguridad = (1.41) (79.37) = 111.91 o cerca de 112 batidoras. El sistema Q correspondiente para la batidora requiere menos inventario de seguridad.

c) El costo total anual del sistema P es:

$$C = \frac{\bar{d}P}{2}(H) + \frac{D}{\bar{d}P}(S) + (H)(\text{inventario de seguridad})$$

$$C = \frac{(100)(4)}{2}(\$9.40) + \frac{26{,}000}{(100)(4)}(\$35) + (\$9.40)(1.41)(79.37)$$

$$= \$5{,}207.80$$

d) La posición del inventario es la cantidad disponible más las recepciones programadas menos las órdenes atrasadas, es decir,

$$IP = OH + SR - BO = 40 + 440 - 0 = 480 \text{ batidoras}$$

La cantidad a ordenar es el nivel meta del inventario menos la posición del inventario, o sea,

$$Q = T - IP = 812 \text{ batidoras} - 480 \text{ batidoras} = 332 \text{ batidoras}$$

Debe colocarse una orden de 332 batidoras.

Sistema de revisión continua *(Q)*	
z	1.41
Inv. de seguridad	73
Punto de reorden	373
Costo anual	$4,822.38

Sistema de revisión periódica *(P)*	
Tiempo entre revisiones (P)	4.00 Días
Desviación estándar de la demanda durante intervalo de protección	☑ Ingreso manual 79.37
Inventario de seguridad	112
Demanda promedio durante intervalo de protección	700
Nivel meta del inventario *(T)*	812
Costo anual	$5,207.80

◀ **FIGURA 9.15**
Solver de *OM Explorer* para sistemas de inventarios

Problema resuelto 6

Grey Wood Lodge es un famoso hotel de 500 cuartos en los bosques del Norte. Los administradores deben llevar un control estricto de todos los artículos de servicio para los cuartos, incluyendo una barra de jabón con olor especial a pinos. La demanda diaria del jabón es 275 barras, con una desviación estándar de 30 barras. El costo de ordenar es $10 y el costo de mantener el inventario es $0.30/barra/año. El tiempo de entrega del proveedor es cinco días, con una desviación estándar de un día. El hotel está abierto 365 días al año.

a) ¿Cuál es el lote económico para la barra de jabón?

b) ¿Cuál debe ser el punto de reorden para la barra de jabón si la administración quiere tener 99% de nivel de servicio del ciclo?

c) ¿Cuál es el costo total anual para la barra de jabón, suponiendo que se utilizará un sistema *Q*?

SOLUCIÓN

a) Tenemos $D = (275)(365) = 100{,}375$ barras de jabón, $S = \$10$ y $H = \$0.30$. El EOQ de la barra de jabón es:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(100{,}375)(\$10)}{\$0.30}} = \sqrt{6{,}691{,}666.7}$$

$$= 2{,}586.83 \text{ o } 2{,}587 \text{ barras}$$

b) Tenemos $\bar{d} = 275$ barras/día, $\sigma_d = 30$ barras, $\bar{L} = 5$ días y $\sigma_{LT} = 1$ día.

$$\sigma_{dLT} = \sqrt{\bar{L}\sigma_d^2 + \bar{d}^2\sigma_{LT}^2} = \sqrt{(5)(30)^2 + (275)^2(1)^2} = 283.06 \text{ barras}$$

Consulte el cuerpo del apéndice de la distribución normal para 0.9900, que corresponde a 99% de nivel de servicio del ciclo. El valor más cercano es 0.9901, que corresponde al valor *z* de 2.33. Calculamos el inventario de seguridad y el punto de reorden como sigue:

$$\text{Inventario de seguridad} = z\sigma_{dLT} = (2.33)(283.06) = 659.53 \text{ o } 660 \text{ barras}$$

$$\text{Punto de reorden} = \bar{d}\bar{L} + \text{inventario de seguridad} = (275)(5) + 600 = 2{,}035 \text{ barras}$$

c) El costo total anual para el sistema *Q* es:

$$C = \frac{Q}{2}(H) + \frac{D}{Q}(S) + (H)(\text{inventario de seguridad})$$

$$= \frac{2{,}587}{2}(\$0.30) + \frac{100{,}375}{2{,}587}(\$10) + (\$0.30)(660) = \$974.05$$

Preguntas para análisis

1. ¿Cuál es la relación entre el inventario y las nueve prioridades competitivas que se estudiaron en el capítulo 1, "Uso de las operaciones para competir"? Suponga que dos fabricantes, la compañía H y la compañía L, son similares excepto que la compañía H tiene inversiones mucho más altas en inventarios de materias primas, trabajo en proceso y productos terminados que la compañía L. ¿En cuáles de las nueve prioridades competitivas tiene ventaja la compañía H?
2. Suponga que una tienda de descuento grande con un gran poder de compra en una cadena de suministro requiere qué todos los proveedores se incorporen a un nuevo sistema de información que reducirá el costo de colocar órdenes entre la tienda y sus proveedores al igual que entre los proveedores y sus cadenas. Suponga también que las cantidades a ordenar y los tiempos de entrega están relacionados; cuanto más pequeña sea la orden, menor será el tiempo de entrega de los proveedores. Suponga que todos los miembros de la cadena de suministro utilizan un sistema de revisión continua y órdenes de EOQ. Explique las implicaciones del nuevo sistema de información para la cadena de suministro en general y los sistemas de inventarios de los miembros de la cadena en particular.
3. ¿Llegarán algún día las organizaciones al punto en el que ya no necesiten inventarios? ¿Por qué sí o por qué no?

Problemas

El OM Explorer y POM para Windows están disponibles para todos los estudiantes de la décima edición de este libro. Vaya a **www.pearsonhighered.com/krajewski** para bajar estos paquetes de computadora. Si compró MyOMLab, también tiene acceso al software de modelos activos y mucha ayuda para resolver los problemas siguientes. Verifique con su instructor la mejor manera de usar estos recursos. En muchos casos, el instructor le pedirá que comprenda cómo se hacen los cálculos a mano. Por lo menos, el software proporciona una verificación de sus cálculos. Cuando los cálculos son muy complejos y la meta es interpretar los resultados al tomar una decisión, el software sustituye por completo los cálculos manuales.

1. Una parte se produce en lotes de 1,000 unidades. Es un ensamble de dos componentes con valor total de $50. El valor agregado en la producción (por mano de obra y costos generales variables) es $60 por unidad, que da un costo total por unidad terminada de $110. El tiempo de entrega promedio para la parte es seis semanas y la demanda anual es 3,800 unidades, basada en 50 semanas hábiles por año.
   a) ¿Cuántas unidades de la parte se mantienen, en promedio, en el inventario de ciclo? ¿Cuál es el valor en dólares de este inventario?
   b) ¿Cuántas unidades de la parte se mantienen, en promedio, en inventario en tránsito? ¿Cuál es el valor de este inventario? (*Sugerencias:* suponga que la parte típica en el inventario en tránsito tiene 50% del trabajo terminado. Así, se ha agregado la mitad del costo de mano de obra y costos generales, con lo que el costo unitario es $80 o $50 + $60/2).
2. Prince Electronics, un fabricante de bienes electrónicos para el consumidor, tiene cinco centros de distribución en diferentes regiones del país. Para uno de sus productos, un módem de alta velocidad con precio de $350 por unidad, la demanda promedio semanal en *cada* centro de distribución es 400 unidades y el tiempo de entrega promedio es dos semanas. Cada centro de distribución mantiene suministros de dos semanas como inventario de seguridad, pero no tiene inventario de previsión.
   a) En promedio, ¿cuántos dólares de inventario en tránsito van a cada centro de distribución?
   b) ¿Cuánto inventario total (de ciclo, de seguridad y en tránsito) tiene Prince para los cinco centros de distribución?
3. Terminator, Inc. fabrica una parte para motocicletas en lotes de 250 unidades. El costo de la materia prima para la parte es $150 y el valor agregado en la manufactura de una unidad a partir de sus componentes es $300, esto da un total por unidad terminada de $450. El tiempo de entrega para hacer la parte es tres semanas y la demanda anual es 4,000 unidades. Suponga 50 semanas de trabajo por año.
   a) ¿Cuántas unidades de la parte se mantienen, en promedio, como inventario de ciclo? ¿Cuál es su valor?
   b) ¿Cuántas unidades de la parte se mantienen, en promedio, como inventario en tránsito? ¿Cuál es su valor?
4. Oakwood Hospital está considerando utilizar análisis ABC para clasificar los SKU del laboratorio en tres categorías: los que el proveedor entrega diario (artículos clase A), los que se controlarán con un sistema de revisión continua (artículos B) y los que se mantendrán en un sistema de dos contenedores (artículos C). La siguiente tabla muestra el valor de uso anual para una muestra de 8 SKU. Clasifique los SKU y asígnelos a la categoría apropiada.

SKU	Valor en dólares	Utilización anual
1	$0.01	1,200
2	$0.03	120,000
3	$0.45	100
4	$1.00	44,000
5	$4.50	900
6	$0.90	350
7	$0.30	70,000
8	$1.50	200

5. Southern Markets, Inc. está considerando aplicar el análisis ABC para centrarse en los SKU más importantes en su inventario. En la actualidad, hay aproximadamente 20,000 SKU diferentes con una utilización en dólares de $10,000,000 por año.
   a) ¿Cuál se puede esperar que sea el SKU y el valor de uso anual total para los artículos A, B y C en Southern Markets?
   b) La siguiente tabla proporciona una muestra aleatoria de los valores unitarios y las demandas anuales de ocho SKU. Clasifique estos SKU como artículos A, B y C.

Código SKU	Valor unitario	Demanda (unidades)
A104	$2.10	2,500
D205	$2.50	30
X104	$0.85	350
U404	$0.25	250
L205	$4.75	20
S104	$0.02	4,000
X205	$0.35	1,020
L104	$4.25	50

6. Yellow Press, Inc. compra papel en rollos de 1,500 libras para impresión. La demanda anual es 2,500 rollos. El costo por rollo es $800 y el costo anual de mantener es 15% del costo. Procesar cada orden cuesta $50.
   a) ¿Cuántos rollos debe ordenar Yellow Press cada vez?
   b) ¿Cuál es el tiempo entre órdenes?
7. Babble, Inc. compra 400 cintas en casete virgen por mes para usarlas en la producción de cursos de idiomas. El costo de ordenar es $12.50. El costo de mantener es $0.12 por casete por año.
   a) ¿Cuántas cintas debe ordenar Babble cada vez?
   b) ¿Cuál es el tiempo entre órdenes?
8. En Dot Com, un vendedor grande de libros populares, la demanda es constante de 32,000 libros por año. El costo de colocar una orden para reabastecer el inventario es $10 y el costo anual de mantener es $4 por libro. El abastecimiento se recibe cinco días hábiles después de colocar la orden. No se permiten órdenes atrasadas. Suponga que hay 300 días hábiles en el año.
   a) ¿Cuál es la cantidad óptima a ordenar para Dot Com?
   b) ¿Cuál es el número óptimo de órdenes por año?
   c) ¿Cuál es el intervalo óptimo (en días hábiles) entre órdenes?
   d) ¿Cuál es la demanda durante el tiempo de entrega?
   e) ¿Cuál es el punto de reorden?
   f) ¿Cuál es la posición del inventario inmediatamente después de colocar una orden?
9. Leaky Pipe, un vendedor de artículos de plomería, tiene una demanda para uno de sus SKU de 30,000 unidades por año con tasa constante. El costo para Leaky Pipe de procesar una orden para reabastecer el inventario es $10 y mantener cada artículo le cuesta $1 por unidad por año. Los suministros se reciben cuatro días hábiles después de colocar la orden. No se permiten órdenes atrasadas. Suponga que hay 300 días hábiles en el año.

a) ¿Cuál es la cantidad óptima a ordenar para Leaky Pipe?

b) ¿Cuál es el número óptimo de órdenes por año?

c) ¿Cuál es el intervalo óptimo (en días hábiles) entre órdenes?

d ¿Cuál es la demanda durante el tiempo de entrega?

e) ¿Cuál es el punto de reorden?

f) ¿Cuál es la posición del inventario inmediatamente después de colocar una orden?

10. Sam's Cat Hotel opera 52 semanas al año, seis días por semana, y utiliza un sistema de inventarios de revisión continua. Compra arena para gatos por $11.70 la bolsa. Se dispone de la siguiente información acerca de estas bolsas.
Demanda = 90 bolsa/semana
Costo de ordenar = $54/orden
Costo anual de mantener = 27% del costo
Nivel de servicio de ciclo = 80%
Tiempo de entrega = 3 semanas (18 días hábiles)
Desviación estándar de demanda *semanal* = 15 bolsas
Inventario disponible actual = 320 bolsas, sin órdenes abiertas o atrasadas

a) ¿Cuál es el EOQ? ¿Cuál sería el tiempo promedio entre órdenes (en semanas)?

b) ¿Cuál debe ser R?

c) Se acaba de hacer un retiro de 10 bolsas. ¿Es tiempo de ordenar?

d) La tienda por ahora utiliza un tamaño de lote de 500 bolsas (es decir, $Q = 500$). ¿Cuál es el costo anual de mantener con esta política? ¿Y el costo anual de ordenar? Sin calcular el EOQ, ¿cómo puede concluir de estos dos cálculos que el tamaño de lote actual es demasiado grande?

e) ¿Cuál sería el ahorro anual si cambia del tamaño de lote de 500 bolsas al EOQ?

11. Considere de nuevo la política de ordenar de arena para gatos de Sam's Cat Hotel en el problema 10.

a) Suponga que el pronóstico de demanda de 90 bolsas es incorrecto y que la demanda real tiene un promedio de 60 bolsas por semana. ¿Qué tanto más altos serán los costos totales debidos al EOQ distorsionado que resultó de este error de pronóstico?

b) Suponga que la demanda real es 60 bolsas, pero que el costo de ordenar son solo $6 si se automatiza la colocación de órdenes por Internet. Sin embargo, el comprador no informa este cambio y el EOQ no se ajusta para reflejar esta reducción en S. ¿Qué tanto más alto será el costo total, comparado con lo que puede ser si se ajusta el EOQ?

12. En un sistema Q, la tasa de demanda de helado de fresa tiene una distribución normal con promedio de 300 pintas *por semana*. El tiempo de entrega es nueve semanas. La desviación estándar de la demanda *semanal* es 15 pintas.

a) ¿Cuál es la desviación estándar de la demanda durante el tiempo de entrega de nueve semanas?

b) ¿Cuál es la demanda promedio durante el tiempo de entrega de nueve semanas?

c) ¿Qué punto de reorden se obtiene para un nivel de servicio del ciclo de 99 por ciento?

13. Petromax Enterprises utiliza un sistema de control de inventarios de revisión continua para uno de sus SKU. Se dispone de la siguiente información sobre el artículo. La empresa opera 50 semanas en el año.
Demanda = 50,000 unidades/año
Costo de ordenar = $35/orden
Costo de mantener = $2/unidad/año
Tiempo de entrega promedio = 3 semanas
Desviación estándar de la demanda semanal = 125 unidades

a) ¿Cuál es el lote económico para este artículo?

b) Si Petromax desea proporcionar 90% de nivel de servicio del ciclo, ¿cuál debe ser el inventario de seguridad y el punto de reorden?

14. En un sistema de inventarios de revisión continua, el tiempo de entrega para perillas para puertas es cinco semanas. La desviación estándar de la demanda durante el tiempo de entrega es 85 unidades. El nivel de servicio deseado del ciclo es 99%. El proveedor de perillas simplificó sus operaciones y ahora señala una semana de tiempo de entrega. ¿Cuánto se puede reducir el inventario de seguridad sin reducir el 99% de nivel de servicio del ciclo?

15. En un sistema de inventarios de dos contenedores, la demanda de pernos de fijación de tres pulgadas durante las dos semanas del tiempo de entrega tiene una distribución normal, con un promedio de 53 unidades por semana. La desviación estándar de la demanda semanal es cinco unidades.

a) ¿Cuál es la probabilidad de que la demanda exceda el punto de reorden cuando el nivel normal en el segundo contenedor se establece en 130 unidades?

b) ¿Cuál es la probabilidad de que la demanda exceda las 130 unidades del segundo contenedor si toma tres semanas recibir la orden de reabastecimiento?

16. Nationwide Auto Parts utiliza un sistema de control de inventarios de revisión periódica para uno de sus artículos. El intervalo de revisión es seis semanas y el tiempo de entrega para recibir los materiales ordenados de su mayorista es tres semanas. La demanda semanal tiene una distribución normal con media de 100 unidades y desviación estándar de 20 unidades.

a) ¿Cuál es el promedio y la desviación estándar de la demanda durante el intervalo de protección?

b) ¿Cuál debe ser el nivel meta del inventario si la empresa desea 97.5% de protección contra faltantes?

c) Si hubiera 350 unidades en inventario en el momento de una revisión periódica, ¿cuántas unidades debe ordenarse?

17. En un sistema P, el tiempo de entrega de una caja de herbicida es dos semanas y el periodo de revisión es una semana. La demanda durante el intervalo de protección es 218 cajas en promedio, con desviación estándar de 40 cajas.

a) ¿Cuál es el nivel de servicio de ciclo cuando el inventario meta se fija en 300 cajas?

b) En el otoño, la demanda de herbicida disminuye, pero también tiene una variación mucho más alta. Suponga que durante el otoño se espera que la demanda en el intervalo de protección disminuya a 180 cajas, pero con desviación estándar de 50 cajas. ¿Cuál sería el nivel de servicio de ciclo si el administrador sigue con el nivel meta del inventario establecido en 300 cajas?

18. Usted está a cargo del control de inventarios de un producto muy exitoso vendido por su empresa. La demanda semanal de este artículo varía, con un promedio de 200 unidades y desviación estándar de 16 unidades. Se compra a un mayorista a un costo de $12.50 por unidad. El tiempo de entrega es cuatro semanas. Colocar una orden cuesta $50 y la tasa anual de mantener el inventario es 20% del costo del artículo. Su empresa opera cinco días por semana, 50 semanas por año.

a) ¿Cuál es la cantidad óptima a ordenar?

b) ¿Cuántas unidades del artículo debe mantener como *inventario de seguridad* para tener 99% de protección contra faltantes durante el ciclo de ordenar?

c) Si el tiempo de entrega se puede reducir a dos semanas, ¿cuál es el porcentaje de reducción en el número de unidades mantenidas en el inventario de seguridad para la *misma protección contra faltantes* de 99 por ciento?

d) Si mediante las promociones adecuadas se reduce la variabilidad de la demanda de manera que la desviación estándar es ocho unidades en lugar de 16, ¿cuál es el porcentaje de *reducción* (comparado con el inciso *b*) en el número de unidades mantenidas en el inventario de seguridad para la misma protección contra faltantes de 99 por ciento?

19. Suponga que Sam's Cat Hotel del problema 10 utiliza un sistema P en lugar del sistema Q. La demanda promedio diaria es $\bar{d} = 90/6 = 15$ bolsas y la desviación estándar de la demanda *diaria* es $\sigma_d = \frac{\sigma_{semana}}{\sqrt{6}} = (15/\sqrt{6}) = 6.124$ bolsas.

a) ¿Qué P (en días hábiles) y T debe usar para aproximar los costos del EOQ?

b) ¿Cuánto más inventario de seguridad se necesita respecto al sistema Q?

c) Es tiempo de la revisión periódica. ¿Cuánta arena de gato debe ordenar?

20. Su empresa utiliza un sistema de revisión continua y opera 52 semanas al año. Uno de los SKU tiene las siguientes características.

Demanda (D) = 20,000 unidades/año
Costo de ordenar (S) = $40/orden
Costo de mantener (H) = $2/unidad/año
Tiempo de entrega (L) = 2 semanas
Nivel de servicio del ciclo = 95%

La demanda tiene distribución normal con desviación estándar de la demanda *semanal* de 100 unidades. El inventario disponible actual es 1,040 unidades, sin recepciones programadas ni órdenes atrasadas.

a) Calcule el EOQ del artículo. ¿Cuál es el tiempo promedio, en semanas, entre órdenes?

b) Encuentre el inventario de seguridad y el punto de reorden que proporciona 95% del nivel de servicio de ciclo.

c) Para estas políticas, ¿cuál es el costo anual de *i*) mantener el inventario de ciclo, *ii*) colocar órdenes?

d) Se acaba de hacer un retiro por 15 unidades. ¿Es hora de reordenar? Si es así, ¿cuánto se debe ordenar?

21. Su empresa utiliza un sistema de revisión periódica para todos los SKU clasificados con el análisis ABC como artículos B o C. Más aun, utiliza un sistema de revisión continua para todos los EOQ clasificados como artículos A. La demanda para un EOQ específico, ahora clasificado como artículo A, ha bajado. Le piden que evalúe el impacto de mover este artículo de la revisión continua a la revisión periódica. Suponga que su empresa opera 52 semanas al año; las características actuales del artículo son:

Demanda (D) = 15,080 unidades/año
Costo de ordenar (S) = $125.00/orden
Costo de mantener (H) = $3.00/unidad/año
Tiempo de entrega (L) = 5 semanas
Nivel de servicio de ciclo = 95%

La demanda sigue una distribución normal con desviación estándar de la demanda semanal de 64 unidades.

a) Calcule el EOQ del artículo.

b) Utilice el EOQ para definir los parámetros de un sistema de revisión continua y uno de revisión periódica adecuados para este artículo.

c) ¿Qué sistema requiere más inventario de seguridad y por cuánto?

22. Una compañía inicia una revisión de sus políticas para su sistema de revisión continua verificando las políticas actuales para una muestra de los SKU. A continuación se dan las características de un artículo.

Demanda (D) = 64 unidades/año (suponga 52 semanas por año)
Costo de ordenar (S) = $50/orden
Costo de mantener (H) = $13/unidad/año
Tiempo de entrega (L) = 2 semanas
Desviación estándar de demanda *semanal* = 12 unidades
Nivel de servicio del ciclo = 88%

a) ¿Cuál es el EOQ de este artículo?

b) ¿Cuál es el inventario de seguridad deseado?

c) ¿Cuál es el punto de reorden?

d) ¿Cuáles son las implicaciones de costo si la política actual para este artículo es $Q = 200$ y $R = 180$?

23. Utilice la misma información del problema 22 para desarrollar las mejores políticas para un sistema de revisión periódica.

a) ¿Qué valor de P da el mismo número aproximado de órdenes por año que el EOQ? Redondee al entero más cercano.

b) ¿Qué inventario de seguridad y nivel meta del inventario proporcionan 88% de nivel de servicio de ciclo?

24. El Hospital Wood County consume 1,000 cajas de vendas por semana. El precio de las vendas es $35 por caja y el hospital opera 52 semanas por año. El costo de procesar una orden es $15 y el costo de mantener una caja por un año es 15% del valor del material.

a) El hospital ordena vendas en lotes de 900 cajas. ¿Qué *costo adicional* tiene el hospital que podría ahorrar usando el método del lote económico?

b) La demanda tiene distribución normal con desviación estándar de la demanda semanal de 100 cajas. El tiempo de entrega es dos semanas. ¿Qué inventario de seguridad es necesario si el hospital utiliza un sistema de revisión continua y desea 97% de nivel de servicio de ciclo? ¿Cuál debe ser el punto de reorden?

c) Si el hospital utiliza un sistema de revisión periódica, con $P = 2$ semanas, ¿cuál debe ser el nivel de inventario meta, T?

25. Un mayorista que se especializa en golf opera 50 semanas por año. La administración intenta determinar una política de inventarios para sus palos 1, que tiene las siguientes características:

Demanda (D) = 2,000 unidades/año

Demanda con distribución normal

Desviación estándar de la demanda *semanal* = 3 unidades

Costo de ordenar = $40/orden

Costo anual de mantener (H) = $5/unidad

Nivel de servicio del ciclo = 90%

Tiempo de entrega (L) = 4 semanas

a) Si la compañía utiliza un sistema de revisión periódica, ¿cuál debe ser el valor de P y de T? Redondee P al entero más cercano.

b) Si la compañía utiliza un sistema de revisión continua, ¿cuál debe ser el valor de R?

26. Osprey Sports almacena todo lo que puede querer un pescador de peces grandes en los Grandes Bosques del Norte. Un anzuelo en particular ha sido muy popular con los pescadores del área, al igual que con los que compran anzuelos por Internet a Osprey Sports. El costo de colocar órdenes con el proveedor es $30/orden, la demanda tiene un promedio de cuatro anzuelos por día, con desviación estándar de un anzuelo y el costo de inventario es $1.00/anzuelo/año. El tiempo de entrega del proveedor es 10 días con desviación estándar de tres días. Es importante conservar 97% de nivel de servicio para balancear el servicio con los costos de mantener el inventario. Osprey Sports está abierto 350 días al año para permitir a los dueños pescar peces grandes durante la temporada buena. Los dueños quieren utilizar un sistema de revisión continua para este artículo.

a) ¿Qué cantidad se debe ordenar?

b) ¿Qué punto de reorden deben establecer?

c) ¿Cuál es el costo total anual de este sistema de inventarios?

27. The Farmer's Wife es una tienda campestre especializada en adornos adecuados para decorar casas de campo. Un artículo que experimenta un frenesí de compra considerable es una miniatura de una vaca Holstein. La demanda semanal promedio es 30 vacas, con desviación estándar de cinco vacas. El costo de colocar una orden de reabastecimiento es $15 y el costo de mantener es $0.75/vaca/año. Sin embargo, el proveedor está en China. El tiempo de entrega de nuevas órdenes es ocho semanas, con una desviación estándar de dos semanas. The Farmer's Wife, que está abierta solo 50 semanas al año, desea desarrollar un sistema de inventarios de revisión continua para este artículo con un nivel de servicio del ciclo de 90 por ciento.

a) Especifique el sistema de revisión continua para las vacas. Explique cómo funcionaría en la práctica.

b) ¿Cuál es el costo total anual para el sistema que desarrolló?

Problemas avanzados

Tal vez sea útil que revise el suplemento E de MyOMLab, "Simulación" antes de trabajar el problema 29.

28. Muscle Bound es una cadena de tiendas para fisicoculturismo (*fitness*) que se puede encontrar en muchos centros comerciales. Recientemente, en un memo interno el director ejecutivo para todo el personal de operaciones se quejaba de que el almacén central excedía su presupuesto. En particular, decía que los inventarios eran demasiado altos y que el presupuesto debía reducirse de manera drástica y proporcionalmente igual para todos los artículos en el almacén. En consecuencia, el administrador del almacén estableció un estudio piloto para ver qué efecto tendría el recorte de presupuesto sobre el servicio al cliente. Eligieron mancuernas de 5 libras, que eran un SKU de alto volumen y ocupaban mucho espacio de almacén. La demanda diaria para las mancuernas es 1,000 unidades, con desviación estándar de 150 unidades. Los costos de ordenar son $40 por orden. Los costos de mantener son $2/unidad/año. El proveedor se localiza en Filipinas; en consecuencia, el tiempo de entrega es 35 días con desviación estándar de cinco días. Las tiendas Muscle Bound operan 313 días al año (ningún domingo).

Suponga que las mancuernas tienen un presupuesto asignado de $16,000 para costo total anual. Si Muscle Bound utiliza un sistema de revisión continua para este artículo y no puede cambiar los costos de ordenar y mantener o la distribución de la demanda o del tiempo de entrega, ¿cuál es el mejor nivel de servicio del ciclo que la administración esperaría de su sistema?

29. El Georgia Lighting Center almacena más de 3,000 lámparas, incluyendo candeleros, guías, lámparas de pared y luces de noche. La tienda vende al menudeo, opera seis días de la semana y se anuncia como "el punto más brillante de la ciudad". Una lámpara costosa se vende a una tasa promedio de cinco unidades por día. La política de reorden es $Q = 40$ y $R = 15$. Una nueva orden colocada el lunes se entregará el jueves. Simule el desempeño de este sistema Q para las siguientes tres semanas (18 días hábiles). El resultado de cualquier faltante es una venta perdida (no una orden atrasada). El inventario inicial es 19 unidades y no hay recepciones programadas. La tabla 9.2 simula la primera semana de operación. Extienda la tabla 9.2 para simular las operaciones para las siguientes dos semanas si la demanda de los siguientes 12 días hábiles es 7, 4, 2, 7, 3, 6, 10, 0, 5, 10, 4 y 7.

a) ¿Cuál es el inventario final promedio diario en los 18 días? ¿Cuántos faltantes ocurrieron?

b) Simule el desempeño del inventario del mismo artículo suponiendo que se usa un sistema $Q = 30$, $R = 20$. Calcule el nivel de inventario promedio y el número de faltantes y compárelos con el inciso *a)*.

TABLA 9.2 | PRIMERA SEMANA DE OPERACIÓN

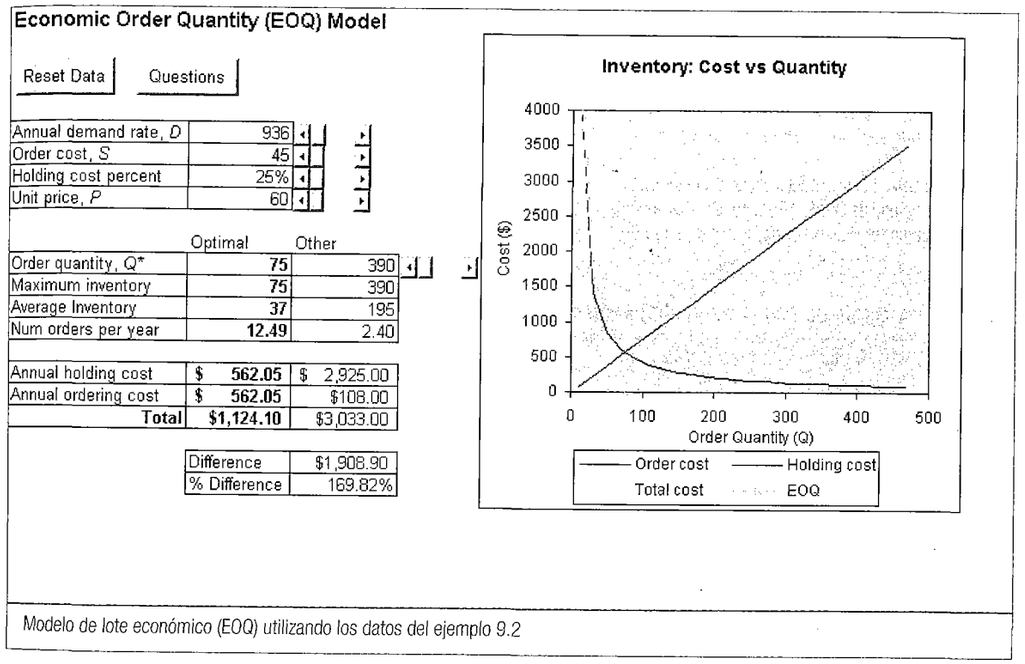
Día hábil	Inventario inicial	Órdenes recibidas	Demanda diaria	Inventario final	Posición del inventario	Cantidad a ordenar
1. Lunes	19	—	5	14	14	40
2. Martes	14	—	3	11	51	—
3. Miércoles	11	—	4	7	47	—
4. Jueves	7	40	1	46	46	—
5. Viernes	46	—	10	36	36	—
6. Sábado	36	—	9	27	27	—

Ejercicio de modelo activo

El modelo activo aparece en MyOMLab. Le permite evaluar la sensibilidad del EOQ y los costos asociados con los cambios en la demanda y los parámetros de costo.

PREGUNTAS

1. ¿Cuál es el EOQ y cuál es el menor costo?
2. ¿Cuál es el costo de mantener el inventario en el EOQ y el costo anual de ordenar inventario al nivel EOQ?
3. De la gráfica, ¿qué puede concluir acerca de la relación entre el costo total más bajo y los costos de ordenar y mantener inventario?
4. ¿Cuánto aumenta el costo total si el administrador de la tienda ordena el doble de los comederos de aves como EOQ? ¿Cuánto aumenta el costo total si el administrador ordena la mitad de los comederos como EOQ?
5. ¿Qué ocurre con el EOQ y el costo total cuando la demanda se duplica? ¿Qué ocurre con el EOQ y el costo total cuando el precio unitario se duplica?
6. Revise los valores más bajos de costo de ordenar y describa los cambios en la gráfica. ¿Qué ocurre con el EOQ?
7. Comente la sensibilidad del modelo EOQ a los errores en las estimaciones de demanda o de costos.



Modelo de lote económico (EOQ) utilizando los datos del ejemplo 9.2

APRENDIZAJE EXPERIENCIAL — Swift Electronic Supply, Inc.

Era una típica tarde de otoño en el sur de California con miles de turistas que se dirigían a las playas a divertirse. Más o menos a 40 millas de ahí, Steven Holland, el director ejecutivo de Swift Electronic Supply, se enfrenta a un problema severo con el administrador del inventario de Swift.

Como veterano de Intel, Steven Holland trabajó en la industria de distribución de componentes electrónicos por más de 20 años. Hace siete años fundó Swift Electronic Supply, Inc., un distribuidor electrónico. Después de varios años de éxito, la compañía ahora tiene problemas que erosionan los márgenes de ganancias. La reciente baja en la economía empeoró la situación. Factores como un crecimiento en el comercio electrónico B2B (negocio a negocio), la globalización de mercados, la creciente popularidad de servicios de valor agregado y las consolidaciones continuas entre los distribuidores del ramo afectan el futuro de Swift.

Para revertir estas influencias, Holland habló con una universidad local de prestigio. Después de la consulta, Holland encontró que la manera más efectiva de aumentar la rentabilidad es reducir los costos de inventario. Como punto de partida, estudió con detalle un producto representativo, la memoria de acceso aleatorio dinámico (DRAM, *dynamic random access memory*), como base para su plan.

Panorama de la industria y la compañía

Debido al florecimiento de la industria de las telecomunicaciones y la revolución de la tecnología de la información, los distribuidores electrónicos experimentaron un crecimiento anual de dos dígitos durante la década pasada. Para recortar el costo de las fuerzas de compras directas, los grandes fabricantes de componentes como Intel, Cisco y Texas Instruments decidieron subcontratar su abastecimiento para poder enfocarse en el desarrollo y manufactura de productos. Por lo tanto, los distribuidores electrónicos independientes como Swift comenzaron a ofrecer servicios de abastecimiento a estas compañías.

Swift da servicio a fabricantes de componentes en California y Arizona. Trabajando como intermediario entre sus clientes y los fabricantes de equipos

originales extranjeros, el modelo de negocios de Swift es bastante sencillo. Pronostica la demanda del cliente, coloca órdenes con los fabricantes extranjeros, almacena esos productos, desglosa cantidades y entrega los productos a los clientes finales.

Recientemente, debido a la competencia más intensa y la reducción de la demanda, Swift ofreció programas de entrega más flexibles y estaba dispuesto a utilizar órdenes más pequeñas. Sin embargo, los clientes siempre pueden ir con los competidores de Swift si éste no satisface sus órdenes. Steven Holland se encontraba ante un dilema: los costos intangibles de perder clientes suelen ser enormes, pero mantener altos niveles de inventario también puede ser costoso.

Dram

Holland centró su atención en DRAM como producto representativo. Antes, la compañía ordenaba una cantidad grande cada vez que sentía que era necesario. El asistente de Holland desarrolló una tabla (tabla 9.3) que contiene dos meses de demanda histórica. De la experiencia de Holland, la demanda de DRAM es relativamente estable en la línea de productos de la compañía y no tiene estacionalidad de ventas. El personal de ventas está de acuerdo en que las condiciones en este año no serán diferentes de los años anteriores y la demanda histórica será un buen indicador de lo que se puede esperar en el futuro.

Los fabricantes principales de DRAM son los del sureste de Asia. En la actualidad, Swift puede comprar una unidad de DRAM 128M por $10. Después de negociar con un proveedor prestigiado, Holland pudo firmar un acuerdo a largo plazo que mantiene el precio en $10 y permite a Swift colocar órdenes en cualquier momento. El proveedor también suministra otros artículos para el inventario de Swift. Además, toma al proveedor de DRAM dos días para entregar los bienes al almacén de Swfit utilizando mensajería aérea.

Cuando Swift no tiene suficiente inventario para satisfacer una orden del cliente, las ventas se pierden; es decir, Swift no puede atrasar la orden faltante porque sus clientes van con los competidores. Sin embargo, los clientes aceptan entregas parciales.

Swift tiene un costo de $200 por colocar una orden con los proveedores. Esta cantidad cubre los costos internos de ordenar y los costos de la entrega del producto a la compañía. Holland estima que el costo de las ventas perdidas es $2 por unidad de DRAM. Este cálculo burdo incluye la pérdida de las ganancias, al igual que el daño intangible en la lealtad del cliente.

Para simplificar su sistema de administración de inventarios, Swift tiene una política de mantener 95% de nivel de servicio de ciclo. El costo de mantener por día y por unidad se estima en 0.5% del costo de los bienes, para cualquier producto. Los costos de mantener inventario se calculan con base en el inventario al final de cada día. El saldo actual es 1,700 unidades de DRAM en inventario.

La rutina de compra diaria es la siguiente. Se colocan las órdenes al *inicio* del día, antes de que Swift abra para los clientes. Las órdenes llegan al inicio del día, dos días después, y se pueden usar para ventas ese mismo día. Por ejemplo, una orden colocada al inicio del día uno llegará a Swift antes de abrir el día tres. La demanda diaria siempre se registra al *final* de día, después de cerrar. Todos los cálculos de costos se hacen al final del día después de registrar la demanda total.

TABLA 9.3 | DATOS DE DEMANDA HISTÓRICA PARA DRAM (UNIDADES)

Día	Demanda	Día	Demanda	Día	Demanda
1	869	21	663	41	959
2	902	22	1,146	42	703
3	1,109	23	1,016	43	823
4	947	24	1,166	44	862
5	968	25	829	45	966
6	917	26	723	46	1,042
7	1,069	27	749	47	889
8	1,086	28	766	48	1,002
9	1,066	29	996	49	763
10	929	30	1,122	50	932
11	1,022	31	962	51	1,052
12	959	32	829	52	1,062
13	756	33	862	53	989
14	882	34	793	54	1,029
15	829	35	1,039	55	823
16	726	36	1,009	56	942
17	666	37	979	57	986
18	879	38	976	58	736
19	1,086	39	856	59	1,009
20	992	40	1,036	60	852

Simulación

Holland piensa que la simulación es un enfoque útil para evaluar varias alternativas de control del inventario. Los datos históricos de la tabla 9.3 se pueden usar para desarrollar políticas de inventarios atractivas. Se desarrolló una tabla para registrar varios costos y evaluar diferentes alternativas. Un ejemplo que muestra algunas decisiones de inventarios recientes para DRAM se muestra en la tabla 9.4.

1. Diseñe un nuevo sistema de inventarios para Swift Electronics Supply, Inc. utilizando los datos proporcionados.
2. Proporcione el razonamiento para su sistema, que debe incluir las reglas de decisión que seguiría para determinar cuánto ordenar y cuándo.
3. Simule el uso de su sistema de inventarios y registre los costos. Desarrolle una tabla como la 9.4 para registrar sus resultados. Su instructor le proporcionará las demandas reales diarias durante la simulación.

TABLA 9.4 | EJEMPLO DE SIMULACIÓN

Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Posición del inventario inicial	1,700	831	1,500	391	3,000	3,232	2,315			
Número ordenado	1,500		3,000	1,200			1,900			
Demanda diaria	869	902	1,109	947	968	917	1,069			
Inventario al final del día	831	–71	391	–556	2,032	2,315	1,246			
Costos de ordenar ($200 por orden)	200		200	200			200			
Costos de mantener ($0.05 por pieza por día)	41.55	0.00	19.55	0.00	101.60	115.75	62.30			
Costo por faltantes ($2 por pieza)	0	142	0	1,112	0	0	0			
Costo total por día	241.55	142.00	219.55	1,312.00	101.60	115.75	262.30			
Costo acumulado desde el día anterior	0.00	241.55	383.55	603.10	1,915.10	2,016.70	2,132.45			
Costo acumulado hasta a la fecha	241.55	383.55	603.10	1,915.10	2,016.70	2,132.45	2,394.75			

CASO Parts Emporium

Parts Emporium, Inc. es un distribuidor mayorista de partes para automóviles formado por dos mecánicos desencantados de los vehículos, Dan Block y Ed Spriggs. Originalmente localizados en la cochera de Block, la empresa ha mostrado un crecimiento estable durante siete años antes de reubicarse en un viejo y abandonado almacén de empaques de carne en el lado sur de Chicago. Con el aumento de espacio para almacenar inventario, la compañía pudo comenzar a ofrecer una línea más extensa de autopartes. Esta selección mayor, combinada con la tendencia a quedarse con los automóviles más tiempo, llevó a un crecimiento explosivo del negocio. Quince años más tarde, Parts Emporium era el distribuidor más grande de autopartes en la región norte del centro.

Recientemente, Parts Emporium se cambió otra vez a un nuevo complejo de oficinas y almacenes cerca de la carretera Interstate 55 en los suburbios de Chicago. Solo el espacio del almacén ocupaba más de 100,000 pies cuadrados. Aunque se han agregado apenas unos cuantos productos desde la construcción del almacén, su utilización aumentó de 65% a más de 90% de la capacidad. Sin embargo, durante este mismo periodo el crecimiento en las ventas se estancó. Estas condiciones motivaron a Block y Spriggs a contratar al primer administrador externo de la compañía en la historia de la empresa.

Es 6 de junio, el primer día de Sue McCaskey en el nuevo puesto de gerente de materiales en Parts Emporium. Una recién graduada de una prominente escuela de negocios, McCaskey, está ansiosa por encontrarse con su primer problema del mundo real. Aproximadamente a las 8:30 a.m., le llegó la forma de reporte de estado del inventario y las órdenes enviadas. Al principio de las hojas impresas de computadoras hay una nota de Joe Donnell, el gerente de compras: "Adjunto encontrarás los datos de desempeño del servicio al cliente y del inventario. Ten la seguridad de que los niveles individuales de inventario son precisos porque hicimos un conteo físico completo del inventario al final de la semana pasada. Por desgracia, no mantenemos registros compilados en alguna de las áreas que pediste. Sin embargo, no hay inconveniente si quieres hacerlo tú misma. ¡Bienvenida a bordo!".

Un poco molesta de que no hubiera información agregada, McCaskey decide seleccionar al azar una pequeña muestra de cerca de 100 artículos y compilar las características del inventario y el servicio a clientes para darse una idea del "panorama total". Los resultados de este experimento le revelaron la razón para que Parts Emporium creara el puesto que ahora tiene. Parece que el inventario está en todos los lugares equivocados. Aunque dispone de un *promedio* de aproximadamente 60 días de inventario, el servicio a clientes de la empresa es inadecuado. Parts Emporium intenta atrasar las órdenes de los clientes que no satisface de inmediato con su inventario, pero alrededor de 10% de la demanda se está perdiendo con los distribuidores que compiten. Como los faltantes son costosos, comparados con los costos de mantener inventario, McCaskey cree que debe lograrse por lo menos 95% el nivel de servicio de ciclo.

McCaskey sabe que aunque su influencia para iniciar cambios será limitada, debe producir resultados positivos sin demora. Así, decide concentrarse en dos productos de la extensa línea: el EG151, una junta de escape y

el DB032, una correa de transmisión. Si puede demostrar ganancias significativas por una administración apropiada del inventario para solo dos productos, quizá Block y Spriggs le den el apoyo que necesita para cambiar todo el sistema de administración del inventario.

La junta de escape EG151 se compra a un proveedor extranjero, Haipei, Inc. La demanda real para las primeras 21 semanas de este año se muestra en la siguiente tabla.

Semana	Demanda real	Semana	Demanda real
1	104	12	97
2	103	13	99
3	107	14	102
4	105	15	99
5	102	16	103
6	102	17	101
7	101	18	101
8	104	19	104
9	100	20	108
10	100	21	97
11	103		

Una revisión rápida de las órdenes pasadas, mostrada en otro documento, indica que se está utilizando un lote de 150 unidades y que el tiempo de entrega para Haipei es bastante constante, dos semanas. En la actualidad, al final de la semana 21, no hay inventario disponible, ya hay una orden atrasada de 11 unidades y la compañía está esperando una recepción programada de 150 unidades.

La junta DB032 se compra a Bendox Corporation de Grand Rapids, Michigan. La demanda real de este año se muestra en la siguiente tabla.

Semana	Demanda real	Semana	Demanda real
11	18	17	50
12	33	18	53
13	53	19	54
14	54	20	49
15	51	21	52
16	53		

Debido a que este producto es nuevo, solo se tiene datos desde su introducción en la semana 11. En este momento, hay 324 unidades disponibles, sin órdenes atrasadas ni recepciones programadas. Se está utilizando un lote de 1,000 unidades, con tiempo de entrega bastante constante de tres semanas.

Los precios de mayoreo que Parts Emporium carga a sus clientes son $12.99 por la junta EG151 y $8.89 por la correa DB032. Como no se ofrecen descuentos por cantidad en estos dos artículos altamente redituables, los márgenes brutos basados en las prácticas de compra actuales son de 32% del precio de mayoreo para la junta y 48% del precio de mayoreo para la correa.

Parts Emporium estima que su costo de mantener inventario es 21% de su inversión en inventario. Este porcentaje reconoce el costo de oportunidad de atar el dinero al inventario y los costos variables de impuestos, seguros y mermas. El reporte anual observa otros gastos de almacén por servicios y mantenimiento, y el servicio de deuda sobre los 100,000 pies cuadrados de almacén que se construyó por $1.5 millones. Sin embargo, McCaskey razona que puede ignorar estos costos de almacén porque no pueden cambiar para el rango de políticas de inventario que está considerando.

El costo de colocar una orden para Parts Emporium con los proveedores se estima en $20 por orden para las juntas de escape y $10 por orden para las correas de transmisión. Para los productos que salen, la compañía puede cobrar cuotas de entrega. Aunque la mayoría de los clientes recoge sus partes en Parts Emporium, algunas órdenes se entregan. Para proporcionar este servicio, Parts Emporium contrata una compañía local por una cuota por flete de $21.40 por orden, que se agrega a la factura del cliente. McCaskey no está segura de aumentar los costos de ordenar para Parts Emporium para incluir los costos de entrega.

PREGUNTAS

1. Póngase en el lugar de Sue McCaskey y prepare un informe detallado para Dan Block y Ed Spriggs sobre el manejo de inventario para la junta de escape EG151 y la correa de transmisión DB032. Asegúrese de presentar un sistema de inventarios apropiado e identifique todos los costos relevantes.
2. ¿Cuánto reduciría sus recomendaciones para estos dos artículos el inventario de ciclo anual, los faltantes y los costos de ordenar?

Referencias seleccionadas

Arnold, Tony J.R., Stephen Chapman y Lloyd M. Clive. *Introduction to Materials Management*, 7a ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2012.

Axsäter, Sven. *Inventory Control*, 2a ed., Nueva York: Springer Science + Business Media, LLC, 2006.

Bastow, B. J. "Metrics in the Material World". *APICS—The Performance Advantage* (mayo, 2005), pp. 49-52.

Benton, W.C. *Purchasing and Supply Chain Management*, 2a ed. Nueva York: McGraw-Hill, 2010.

Callioni, Gianpaolo, Xavier de Montgros, Regine Slagmulder, Luk N. Van Wassenhove y Linda Wright. "Inventory-Driven Costs". *Harvard Business Review* (marzo, 2005), pp. 135-141.

Cannon, Alan R. y Richard E. Crandall. "The Way Things Never Were". *APICS—The Performance Advantage* (enero, 2004), pp. 32-35.

Hartvigsen, David. *SimQuick: Process Simulation with Excel*, 2a ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2004.

Operations Management Body of Knowledge. Falls Church, VA: American Production and Inventory Control Society, 2009.

Timme, Stephen G. y Christine Williams-Timme. "The Real Cost of Holding". *Supply Chain Management Review* (julio/agosto, 2003), pp. 30-37.

Walters, Donald. *Inventory Control and Management*, 2a ed. West Sussex, Inglaterra: John Wiley and Sons, Ltd, 2003.

SUPLEMENTO

C

MODELOS ESPECIALES DE INVENTARIOS

Muchos problemas del mundo real requieren que se relajen ciertas suposiciones en las que está basado el modelo del lote económico (EOQ). Este suplemento aborda tres situaciones realistas que requieren ir más allá de la sencilla formulación del modelo EOQ.

1. Reabastecimiento no instantáneo. En situaciones particulares en las que los fabricantes utilizan un proceso continuo para fabricar un material primario, como un líquido, gas o polvo, la producción no es instantánea. Por tanto, el inventario se reabastece de manera gradual y no en lotes.
2. Descuentos por cantidad. Tres costos anuales son: **1.** costo de mantener inventario, **2.** costo fijo de ordenar y preparar y **3.** el costo de materiales. Para los proveedores de servicios y los fabricantes por igual, el costo unitario de los materiales comprados algunas veces depende de la cantidad ordenada.
3. Decisiones para un periodo. Las tiendas y los fabricantes de bienes de moda con frecuencia se encuentran ante una situación en la que la demanda es incierta y solo ocurre durante un periodo o temporada.

Este suplemento supone que ya leyó el capítulo 9, "Administración del inventario de la cadena de suministro" y el suplemento A, "Toma de decisiones".

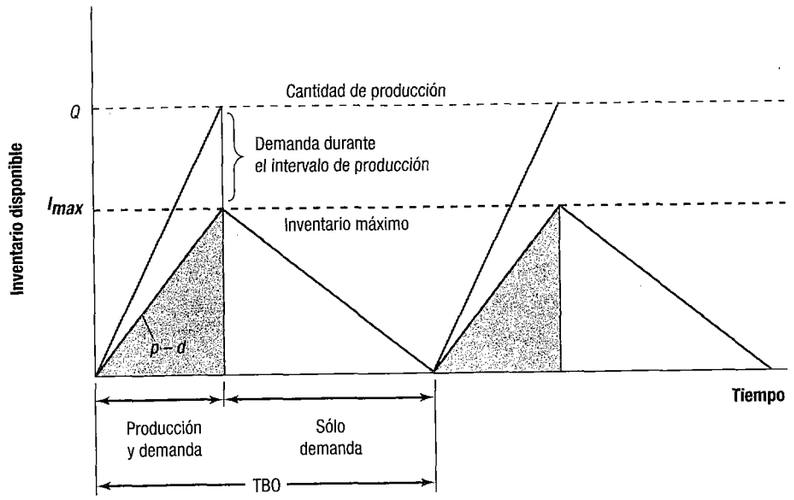
Reabastecimiento no instantáneo

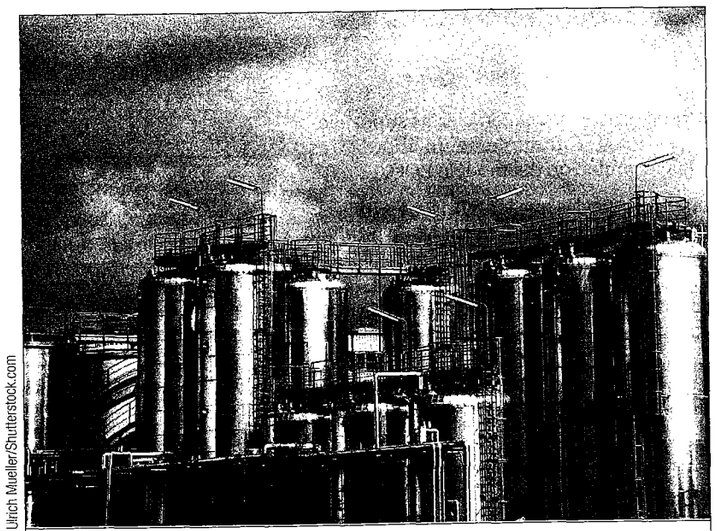
Si un artículo se produce internamente en lugar de comprarse, las unidades terminadas pueden utilizarse o venderse en cuanto están concluidas, sin esperar hasta que salga un lote completo. Por ejemplo, un restaurante que hornea sus propios rollos para la cena comienza a servir algunos de los rollos de la primera charola, aun antes de que el panadero termine un lote de cinco charolas. El inventario de rollos nunca alcanza el nivel de cinco charolas, como lo haría si los rollos llegaran juntos en un camión enviado por el proveedor.

METAS DE APRENDIZAJE *Después de estudiar este suplemento, usted será capaz de:*

1. Identificar las situaciones en las que debe utilizarse el tamaño del lote económico, en lugar de la cantidad económica a ordenar.
2. Calcular el tamaño del lote óptimo cuando el abastecimiento no es instantáneo.
3. Definir los costos relevantes que deben considerarse para determinar la cantidad a ordenar cuando hay descuentos disponibles.
4. Determinar la cantidad óptima a ordenar cuando los materiales están sujetos a descuentos por cantidad.
5. Calcular la cantidad a ordenar que maximiza las ganancias esperadas para una decisión de inventario de un periodo.

FIGURA C.1 ▶
Lote económico con reabastecimiento no instantáneo





Ulrich Mueller/Shutterstock.com

Esta planta química almacena sus productos en tanques. La producción de cada producto está programada para comenzar cuando su tanque está casi vacío.

La figura C.1 describe el caso usual en el que la tasa de producción, p, *excede* a la tasa de demanda, d. Si la demanda y la producción fueran iguales, la manufactura sería continua sin acumular en el ciclo de inventario. Si la tasa de producción es menor que la tasa de demanda se pierden, sobre la marcha, oportunidades de venta. Suponemos que $p > d$ en este suplemento.

El inventario de ciclo se acumula más rápido de lo que ocurre la demanda; esto es, ocurre una acumulación de $p - d$ unidades por periodo. Por ejemplo, si la tasa de producción es 100 unidades por día y la demanda es cinco unidades por día, la acumulación es de 95 (100 – 5) unidades diarias. Esta acumulación continúa hasta que se produce el tamaño del lote, Q, después de lo cual el inventario se agota a una tasa de cinco unidades por día. En cuanto el inventario llega a cero, comienza el siguiente intervalo de producción. Para ser congruente, tanto p como d deben expresarse como unidades del mismo periodo, como unidades por día o unidades por semana. Supondremos que se expresan en unidades por día.

La acumulación de $p - d$ continúa durante Q/p días porque Q es el tamaño de lote y se producen p unidades cada día. En nuestro ejemplo, si el tamaño de lote es 300 unidades, el intervalo de producción es tres días (300/100). Para la tasa de acumulación dada en el intervalo de producción, el inventario máximo de ciclo, $I_{máx}$, es:

$$I_{máx} = \frac{Q}{p}(p - d) = Q\left(\frac{p - d}{p}\right)$$

El inventario promedio de ciclo ya no es $Q/2$, como en el modelo EOQ, en su lugar es $I_{máx}/2$. Al establecer la ecuación de costo total anual para esta situación de producción, donde D es la demanda anual, como antes, y d es la demanda diaria, obtenemos:

Costo anual total = costo anual de mantener + costo anual de ordenar o preparar

$$C = \frac{I_{máx}}{2}(H) + \frac{D}{Q}(S) = \frac{Q}{2}\left(\frac{p - d}{p}\right)(H) + \frac{D}{Q}(S)$$

Según esta función de costo, el tamaño óptimo del lote, con frecuencia llamado **tamaño del lote económico de producción (ELS)**, es:

tamaño del lote económico de producción (ELS)
Tamaño de lote óptimo en una situación en la que el reabastecimiento no es instantáneo.

$$\text{ELS} = \sqrt{\frac{2DS}{H}}\sqrt{\frac{p}{p - d}}$$

Como el segundo término es una razón mayor que 1, el ELS da un tamaño de lote más grande que EOQ.

EJEMPLO C.1 Cálculo del tamaño de lote económico de producción

El gerente de una planta química debe determinar el tamaño de lote para un químico específico que tiene una demanda estable de 30 barriles por día. La tasa de producción es 190 barriles diarios, la demanda anual es 10,500 barriles, el costo de preparación es $200, el costo anual de mantener es $0.21 por barril y la planta opera 350 días por año.

a) Determine el tamaño de lote económico de producción (ELS).

b) Determine el costo total anual de preparación y mantener inventario, para el ELS.

c) Determine el tiempo entre órdenes (TBO) o longitud del ciclo, para el ELS.

d) Determine el tiempo de producción por lote.

¿Cuáles son las ventajas de reducir 10% el tiempo de preparación?

MyOMLab
El tutor C.1 en MyOMLab proporciona un nuevo ejemplo para determinar el ELS.

MyOMLab
El modelo activo C.1 proporciona información adicional sobre el modelo ELS y su utilización.

SOLUCIÓN

a) Al despejar ELS obtenemos:

$$\text{ELS} = \sqrt{\frac{2DS}{H}}\sqrt{\frac{p}{p - d}} = \sqrt{\frac{2(10{,}500)(\$200)}{\$0.21}}\sqrt{\frac{190}{190 - 30}}$$

$$= 4{,}873.4 \text{ barriles}$$

b) El costo total anual con el ELS es:

$$C = \frac{Q}{2}\ \frac{p - d}{p}\ (H) + \frac{D}{Q}(S)$$

$$= \frac{4{,}873.4}{2}\ \frac{190 - 30}{190}\ (\$0.21) + \frac{10{,}500}{4{,}873.4}(\$200)$$

$$= \$430.91 + \$430.91 = \$861.82$$

c) Al aplicar la fórmula de TBO al ELS, se obtiene:

$$TBO_{ELS} = \frac{\text{ELS}}{D}(350 \text{ días/año}) = \frac{4{,}873.4}{10{,}500}(350)$$

$$= 162.4 \quad \text{o} \quad 162 \text{ días}$$

d) El tiempo de producción durante cada ciclo es el tamaño de lote dividido entre la tasa de producción:

$$\frac{\text{ELS}}{p} = \frac{4{,}873.4}{190} = 25.6 \quad \text{o} \quad 26 \text{ días}$$

PUNTO DE DECISIÓN

Como lo muestra OM Explorer en la figura C.2, el efecto neto de reducir el costo de preparación en un 10% es reducir el tamaño de lote, el tiempo entre órdenes y el tiempo de ciclo de producción. En consecuencia, los costos totales anuales también se reducen. Esto agrega flexibilidad al proceso de manufactura porque los artículos se pueden hacer más rápido con menos gasto. La administración debe decidir si el costo agregado de mejorar la preparación vale la pena por la mayor flexibilidad y la reducción en el costo del inventario.

Periodo utilizado en cálculos: Día

Demanda por día	30
Producción diaria	190
Demanda anual	10,500
Costo de preparación	$180
Costo anual de mantener ($)	$0.21
Días de operación por año	350
Tamaño del lote económico (ELS)	4,623
Costo total anual	$817.60
Tiempo entre órdenes (días)	154.1
Tiempo de producción	24.3

(●) Ingrese costo de mantener manualmente ( ) Costo de mantener como % del valor

◀ **FIGURA C.2**
Solver de *OM Explorer* para el tamaño del lote de producción que muestra el efecto de reducir 10% en el costo de preparación

Corbis Premium RF/Alamy

Muchos hospitales se unen en cooperativas para aprovechar la fuerza necesaria para obtener los precios de descuento de los proveedores. En la foto, un farmacéutico verifica los registros del inventario de suministros.

Descuentos por cantidad

Los descuentos por cantidad, que son incentivos de precios para comprar grandes cantidades, crean presión para mantener un inventario alto. Por ejemplo, un proveedor puede ofrecer un precio de $4.00 por unidad para órdenes entre 1 y 99, un precio de $3.50 por unidad para órdenes entre 100 y 199, y un precio de $3.00 por unidad para órdenes de 200 unidades o más. El precio del artículo ya no es fijo, como se supone en la derivación del EOQ; en su lugar, si la cantidad de la orden aumenta lo suficiente, el precio se descuenta. Entonces es necesario un nuevo enfoque para encontrar el mejor tamaño de lote, uno que equilibre las ventajas de precios menores por los materiales comprados y menos órdenes (que son los beneficios de ordenar cantidades grandes) contra las desventajas de mayor costo de mantener más inventario.

El costo total anual ahora incluye no sólo el costo de mantener, $(Q/2)(H)$, y el costo de ordenar $(D/Q)(S)$, sino también el costo de los materiales comprados. Para el nivel de precio unitario, P, el costo total es:

$$\text{Costo total anual} = \text{costo anual de mantener} + \text{costo anual de ordenar o preparar} + \text{costo anual de materiales}$$

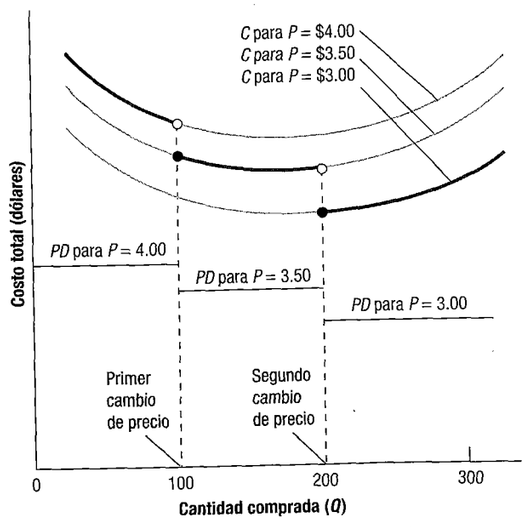
$$C = \frac{Q}{2}(H) + \frac{D}{Q}(S) + PD$$

El costo unitario de mantener, H, suele expresarse como porcentaje del precio unitario porque cuanto más valioso es un artículo en inventario, mayor es el costo de guardarlo. Entonces, si el precio unitario, P, es menor, H será menor. Inversamente, cuanto mayor es P, mayor será H.

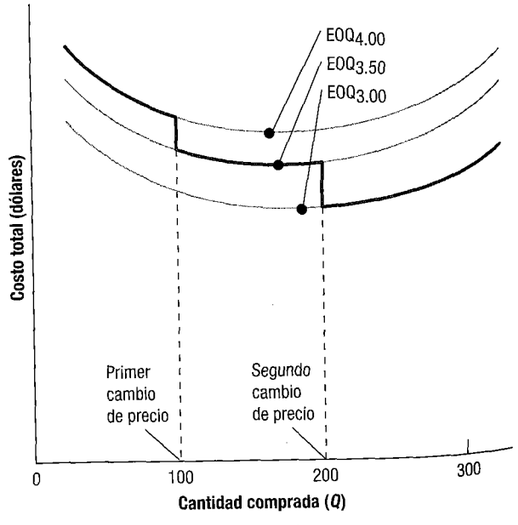
La ecuación del costo total lleva a curvas de costos en forma de U. Al agregar el costo anual de los materiales a la ecuación, se eleva la curva del costo total en una cantidad fija, como se muestra en la figura C.3 *a*). Las tres curvas de costos ilustran cada nivel de precios. La curva superior se aplica cuando no se reciben descuentos; las curvas inferiores reflejan los niveles de precios con descuento. Ninguna de las tres curvas por *sí* solas son relevantes para las cantidades compradas. El costo total relevante o factible comienza con la curva superior, luego baja curva por curva en los cambios de precios. Un cambio de precios es la cantidad mínima que debe comprarse para obtener el descuento. En la figura C.3, ocurren dos cambios de precios en $Q = 100$ y $Q = 200$. El resultado es una curva de costo total, con escalones en los cambios de precios.

La figura C.3 *b*) también muestra tres puntos adicionales —el punto mínimo de cada curva— obtenidos con la formula de EOQ en cada nivel de precio. Esos EOQ no necesariamente producen el mejor tamaño de lote por dos razones.

▼ **FIGURA C.3**
Curvas de costo total con descuentos por cantidad



a) Curvas de costo total con materiales comprados agregados



b) EOQ y cantidades donde cambia el precio

1. El EOQ en un nivel particular de precio quizá no sea factible El tamaño de lote tal vez no está en el intervalo correspondiente a su precio por unidad. La figura C.3 *b*) ilustra dos casos de no factibilidad del EOQ. Primero el punto mínimo para la curva de $3.00 parece que son menos de 200 unidades. Sin embargo, la cantidad con descuento del proveedor no permite compras por esa cantidad menor al precio unitario de $3.00. De manera similar para el nivel de precio de $4.00 el EOQ es mayor que el primer cambio de precio, de modo que el precio cargado solo puede ser $3.50.
2. El EOQ en un nivel de precio dado puede ser factible, pero quizá no sea el mejor tamaño de lote. El EOQ factible puede tener un costo más alto que el logrado por el EOQ o por la cantidad de cambio en el precio en una curva de precios más bajos. En la figura C.3 *b*), por ejemplo, el cambio de precio para 200 unidades en el nivel de precio de $3.00 tiene un costo total que el EOQ factible para el nivel de precio de $3.50. Un EOQ factible siempre es mejor que cualquier punto en las curvas de costo con niveles de precio más altos, pero no necesariamente mejor que en los de niveles más bajos. Entonces, el único caso en el que podemos concluir de inmediato, sin comparar los costos totales, que un EOQ factible es la mejor cantidad a ordenar es cuando está en la curva para el nivel de precio más bajo. Esta conclusión no es posible en la figura C.3 *b*) porque el único EOQ factible está en el nivel de precio medio, $P = \$3.50$.

Por lo tanto, cuando buscamos el mejor tamaño de lote, debemos poner atención a las combinaciones factibles de precio y cantidad, mostradas como líneas sólidas en la figura C.3 *b*). Se puede usar el siguiente procedimiento de dos pasos para encontrar el mejor tamaño de lote.

Paso 1. Iniciando con el precio más bajo, calcule el EOQ para cada nivel de precio hasta que se encuentre un EOQ factible. Es factible si está en el intervalo correspondiente a su precio. Cada EOQ subsecuente es más pequeño que el anterior porque P, y por lo tanto H, es más grande y porque la H más grande está en el denominador de la fórmula de EOQ.

Paso 2. Si el primer EOQ factible encontrado está en el nivel de precio más bajo, esta cantidad es el mejor tamaño de lote. De otra manera, calcule el costo total para el primer EOQ factible y para la cantidad mayor del cambio de precio en cada nivel de precio más bajo. La cantidad con el menor costo total es óptima.

EJEMPLO C.2 Cálculo de Q con descuentos por cantidad en el St. LeRoy Hospital

Un proveedor del St. LeRoy Hospital ha introducido descuentos por cantidad para promover compras de cantidades mayores de un catéter especial. El programa de precios es:

Cantidad a ordenar	Precio por unidad
0 a 299	$60.00
300 a 499	$58.80
500 o más	$57.00

El hospital estima que si la demanda anual para este artículo es 936 unidades su costo de ordenar es $45.00 por orden y su costo anual de mantener es 25% del precio unitario del catéter especial. ¿Cuál es la cantidad que debe ordenar el hospital para minimizar los costos totales? Suponga que el precio por cantidades entre 300 y 499 se reduce a $58.00. ¿Debe cambiar la cantidad a ordenar?

SOLUCIÓN

Paso 1. Encontrar el primer EOQ factible, comenzando con el nivel de precio más bajo:

$$EOQ_{57.00} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(936)(\$45.00)}{0.25(\$57.00)}} = 77 \text{ unidades}$$

Una orden de 77 unidades de hecho cuesta $60.00 por unidad, en lugar de $57.00 por unidad que se utilizó en el cálculo de EOQ, por lo que este EOQ es no factible. Ahora intentamos el nivel de $58.80:

$$EOQ_{58.80} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(936)(\$45.00)}{0.25(\$58.80)}} = 76 \text{ unidades}$$

MyOMLab

El tutor C.2 en MyOMLab proporciona un nuevo ejemplo para elegir la mejor cantidad a ordenar seleccionando la mejor cantidad a ordenar cuando se dispone de descuentos.

MyOMLab

El modelo activo C.2 en MyOMLab proporciona información adicional sobre el modelo de descuentos por cantidad y sus aplicaciones.

Esta cantidad tampoco es factible porque una orden de 76 unidades es demasiado pequeña y no califica para el precio de $58.80. Intentamos el nivel de precios más alto:

$$EOQ_{60.00} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(936)(\$45.00)}{0.25(\$60.00)}} = 75 \text{ unidades}$$

Esta cantidad es factible porque está en el intervalo correspondiente a su precio, $P = \$60.00$.

Paso 2. El primer EOQ factible de 75 no corresponde al nivel de precio más bajo. Entonces, debemos comparar su costo total con las cantidades de cambio de precio (300 y 500 unidades) en los niveles de precio menores ($58.80 y $57.00):

$$C = \frac{Q}{2}(H) + \frac{D}{Q}(S) + PD$$

$$C_{75} = \frac{75}{2}[(0.25)(\$60.00)] + \frac{936}{75}(\$45.00) + \$60.00(936) = \$57.284$$

$$C_{300} = \frac{300}{2}[(0.25)(\$58.80)] + \frac{936}{300}(\$45.00) + \$58.80(936) = \$57.382$$

$$C_{500} = \frac{500}{2}[(0.25)(\$57.00)] + \frac{936}{500}(\$45.00) + \$57.00(936) = \$56.999$$

La mejor cantidad a comprar es 500 unidades, que califica para el descuento mayor.

PUNTO DE DECISIÓN

Si el precio por unidad para el intervalo de 300 a 499 unidades se reduce a $58.00, la mejor decisión es ordenar 300 catéteres, como lo muestra el OM Explorer en la figura C.4. Este resultado indica que la decisión es sensible al programa de precios. Una reducción de un poco menos de 1% es suficiente para marcar la diferencia en este ejemplo. En general, no siempre es así, no siempre se debe ordenar más que el lote económico cuando se dan descuentos. Cuando los descuentos son pequeños, el costo de mantener H es grande, y la demanda D es pequeña, por lo que los tamaños de lote pequeños son mejores aunque los precios de descuento no se aprovechen.

FIGURA C.4 ▶
Solver de *Om Explorer* para descuentos por cantidad que muestra la mejor cantidad a ordenar

Cant. mín. req. para punto de precio	Más: Tamaños de lote	Menos: Precio/unidad
...	0–299	$60.00
300	300–499	$58.00
500	500 o más	$57.00

Demanda anual	936
Costo de ordenar	$45
Costo de mantener (% de precio)	25%
Mejor cantidad a ordenar	300

Punto de precio	EOQ u orden req. para punto de precio	Costo inventario	Costo ordenar	Costo compra	Costo total
$60.00	75	$562.50	$561.60	$56,160	$57,284
$58.00	300	$2,175	$140.40	$54,288	$56,603
$57.00	500	$3,563	$84.24	$53,352	$56,999

>> <<

Decisiones para un periodo

Uno de los dilemas que enfrentan muchos minoristas es cómo manejar los bienes estacionales, como abrigos de invierno. Con frecuencia, no se pueden vender por su precio completo el siguiente año, por los cambios en la moda. Más aún, el tiempo de entrega quizá sea mayor que la temporada de venta, con lo que no se tiene una segunda oportunidad de colocar otra orden para cubrir una inesperada demanda alta. Existe un problema similar para los fabricantes de otros productos de moda.

Este tipo de situación se conoce como *problema del vendedor de periódicos*. Si el vendedor de periódicos no compra suficientes para revender en su puesto, las oportunidades de venta se pierden. Si el vendedor compra demasiados periódicos, el excedente no se puede vender porque nadie quiere el periódico de ayer.

El siguiente proceso es una manera directa de analizar estos problemas y decidir la mejor cantidad a ordenar.

1. Enumerar los diferentes niveles de demanda posibles, junto a la probabilidad estimada de cada uno.

2. Desarrollar una tabla de *pagos* que muestre la ganancia de cada cantidad, Q, comprada suponiendo para cada una el nivel de demanda, D. Cada renglón de la tabla representa una cantidad a ordenar diferente y cada columna representa un nivel de demanda distinto. El pago para una combinación cantidad-demanda dada depende de si todas las unidades se venden con un margen de ganancia normal durante la temporada normal, lo que da como resultado dos casos posibles.
   a) Si la demanda es suficientemente alta ($Q \leq D$), entonces todas las unidades se venden con el margen de ganancia completo, p, durante la temporada normal.
   $$\text{Pago} = (\text{ganancia por unidad})\ (\text{cantidad comprada}) = pQ$$
   b) Si la cantidad comprada excede la demanda posible ($Q > D$), solo D unidades se venden con el margen de ganancia completo y el resto de las unidades compradas deben considerarse una pérdida, l, después de la temporada. En este caso
   $$\text{Pago} = \begin{pmatrix}\text{ganancia por unidad}\\ \text{vendida en temporada}\end{pmatrix}(\text{demanda}) - \begin{pmatrix}\text{pérdida}\\ \text{por unidad}\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\text{después de temporada}\\ \text{cantidad desechada}\end{pmatrix}$$
   $$= pD - l(Q - D)$$
3. Calcular el pago esperado para cada Q (o cada renglón en la tabla de pagos) utilizando la regla de decisión del *valor esperado*. Para una Q dada, primero se multiplica cada pago en el renglón por la probabilidad de la demanda asociada con el pago y luego se suman estos productos.
4. Elegir la cantidad a ordenar Q con el pago esperado más alto.

Utilizar este proceso de decisión para todos los artículos del mismo tipo durante muchas temporadas hace que las ganancias se maximicen. Sin embargo, no es un método a prueba de todo y ocasionalmente se puede tener algún mal resultado.

EJEMPLO C.3 Cálculo de Q para decisiones de inventario de un periodo

Uno de muchos artículos vendidos en un museo de historia natural es un ornamento de Navidad tallado en madera. La tienda de regalos tiene una ganancia de $10 por unidad vendida durante la temporada, pero le queda una pérdida de $5 por unidad cuando termina la temporada. Se ha identificado la siguiente distribución de probabilidad discreta para la demanda de la temporada:

Demanda	10	20	30	40	50
Probabilidad de la demanda	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1

¿Cuántos ornamentos debe ordenar el comprador del museo?

SOLUCIÓN

Cada nivel de demanda es un candidato para la mejor cantidad a ordenar, de modo que la tabla de pagos debe tener cinco renglones. Para el primer renglón, donde $Q = 10$, la demanda es al menos tan grande como la cantidad a comprar. Entonces, los cinco pagos en este renglón son:

$$\text{Pago} = pQ = (\$10)(10) = \$100$$

Esta fórmula se puede usar en otros renglones, pero sólo para aquellas combinaciones cantidad-demanda en las que todas las unidades se venden durante la temporada. Estas combinaciones están en la parte superior derecha de la tabla de pagos, donde $Q \leq D$. Por ejemplo, el pago cuando $Q = 40$ y $D = 50$ es:

$$\text{Pago} = pQ = (\$10)(40) = \$400$$

Los pagos en la parte inferior izquierda de la tabla representan las combinaciones cantidad-demanda en las que quedan algunas unidades que deben desecharse después de la temporada ($Q > D$). Para este caso, el pago debe calcularse con la segunda fórmula. Por ejemplo, cuando $Q = 40$ y $D = 30$,

$$\text{Pago} = pD - l(Q - D) = (\$10)(30) - (\$5)(40 - 30) = \$250$$

OM Explorer y POM para Windows se pueden usar para analizar este problema. Con OM Explorer obtuvimos la tabla de pagos de la figura C.5

MyOMLab
El tutor C.3 en MyOMLab proporciona un nuevo ejemplo para practicar la decisión de inventario de un periodo.

MyOMLab
El modelo activo C.3 en MyOMLab proporciona información adicional sobre el modelo de decisión de inventario de un periodo y sus aplicaciones.

▼ FIGURA C.5
Solver de *OM Explorer* para decisiones de inventario de un periodo que muestra la tabla de pagos

Ganancia	$10.00 (si se vende durante el periodo preferido)
Pérdida	$5.00 (si se vende después del periodo preferido)

Ingrese la demanda posible con la probabilidad de que cada una ocurra. Utilice los botones para aumentar o disminuir el número de pronósticos de demanda permitidos. NOTA: asegúrese de ingresar los pronósticos de demanda y sus probabilidades en todas las celdas sombreadas y que las probabilidades sumen 1.

	<	>			
Demanda	10	20	30	40	50
Probabilidad	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1

Tabla de pagos

	Demanda				
	10	20	30	40	50
Cantidad 10	100	100	100	100	100
20	50	200	200	200	200
30	0	150	300	300	300
40	–50	100	250	400	400
50	–100	50	200	350	500

Problema resuelto 1

Peachy Keen, Inc. fabrica suéteres de angora, blusas con cuellos Peter Pan, pantalones Capri, faldas de lana y otras prendas de ropa populares de la década de 1950. La demanda promedio de los suéteres de angora es 100 por semana. La instalación de producción de Peachy tiene capacidad para coser 400 suéteres por semana. El costo de preparación es $351. El valor de inventario de los bienes terminados es $40 por suéter. El costo anual por unidad de mantener inventario es 20% del valor del artículo.

a) ¿Cuál es el tamaño del lote económico de producción (ELS)?

b) ¿Cuál es el tiempo promedio entre órdenes (TBO)?

c) ¿Cuál es el costo total anual de mantener inventario y preparar?

SOLUCIÓN

a) El tamaño del lote de producción que minimiza el costo total es:

$$\text{ELS} = \sqrt{\frac{2DS}{H}}\sqrt{\frac{p}{p-d}} = \sqrt{\frac{2(100\times 52)(\$351)}{0.20(\$40)}}\sqrt{\frac{400}{(400-100)}}$$

$$= \sqrt{456{,}300}\sqrt{\frac{4}{3}} = 780 \text{ suéteres}$$

b) El tiempo promedio entre órdenes es:

$$\text{TBO}_{\text{ELS}} = \frac{\text{ELS}}{D} = \frac{780}{5{,}200} = 0.15 \text{ años}$$

Convirtiendo a semanas, obtenemos:

$$\text{TBO}_{\text{ELS}} = (0.15 \text{ años})(52 \text{ semanas/años}) = 7.8 \text{ semanas}$$

c) El costo total de mantener y preparar es:

$$C = \frac{Q}{2}\frac{p-d}{p}(H) + \frac{D}{Q}(S) = \frac{780}{2}\frac{400-100}{400}(0.20\times\$40) + \frac{5{,}200}{780}(\$351)$$

$$= \$2{,}340/\text{año} + \$2{,}340/\text{año} = \$4{,}680/\text{año}$$

Problema resuelto 2

Un hospital compra paquetes quirúrgicos desechables de Pfisher, Inc. El programa de precios de Pfisher es $50.25 por paquete en órdenes de 1 a 199 paquetes y $49.00 por paquete en órdenes de 200 paquetes o más. El costo de ordenar es $64 por orden y el costo anual de mantener es 20% del precio de compra unitario. La demanda anual es 490 paquetes. ¿Cuál es la mejor cantidad a ordenar?

SOLUCIÓN

Primero calculamos el EOQ para el *menor* precio:

$$\text{EQQ}_{49.00} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(490)(\$64.00)}{0.20(\$49.00)}} = \sqrt{6{,}400} = 80 \text{ paquetes}$$

Esta solución no es factible porque, de acuerdo con el programa de precios, no se pueden comprar 80 paquetes a un precio de $49.00 cada uno. Por lo tanto, calculamos el EOQ para el siguiente precio más bajo ($50.25):

$$\text{EQQ}_{50.25} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(490)(\$64.00)}{0.20(\$50.25)}} = \sqrt{6{,}241} = 79 \text{ paquetes}$$

Este EOQ es factible, pero $50.25 por paquete no es el precio más bajo. Así, debemos determinar si los costos totales se pueden reducir comprando 200 unidades y con ello obtener el descuento por cantidad.

$$C = \frac{Q}{2}(H) + \frac{D}{Q}(S) + PD$$

$$C_{79} = \frac{79}{2}(0.20\times\$50.25) + \frac{490}{79}(\$64.00) + \$50.25(490)$$

$$= \$396{,}98/\text{año} + \$396{,}68/\text{año} + \$24{,}622.50/\text{año} = \$25{,}416.44/\text{año}$$

$$C_{200} = \frac{200}{2}(0.20\times\$49.00) + \frac{490}{200}(\$64.00) + \$49.00(490)$$

$$= \$980.00/\text{año} + \$156.80/\text{año} + \$24{,}010.00/\text{año} = \$25{,}146.80/\text{año}$$

Al comprar 200 unidades por orden ahorramos $269.64/año, comparado con la compra de 79 unidades cada vez.

Problema resuelto 3

Swell Productions está patrocinando un congreso para propietarios de automóviles Ford clásicos y coleccionables. El espacio concesionado en el área del T-Bird venderá ropa como camisetas de T-Bird y los jerseys oficiales de carreras de Thunderbird. Los jerseys se compran a Columbia Products por $40 cada uno y se venden durante el evento en $75. Si quedan jerseys se pueden regresar a Columbia por un rembolso de $30 cada uno. La venta de jerseys depende del clima, la asistencia y otras variables. La siguiente tabla muestra la probabilidad de vender diferentes cantidades. ¿Cuántos jerseys debe Swell Productions ordenar a Columbia para este evento de una vez?

Cantidad de ventas	Probabilidad	Cantidad de ventas	Probabilidad
100	0.05	400	0.34
200	0.11	500	0.11
300	0.34	600	0.05

SOLUCIÓN

La tabla C.1 es la tabla o matriz de pagos que describe esta decisión de inventarios de un periodo. La parte superior derecha de la tabla muestra los pagos cuando la demanda, D, es mayor o igual que la cantidad ordenada, Q. El pago es igual a la ganancia por unidad (diferencia entre precio y costo) multiplicada por la cantidad ordenada. Por ejemplo, cuando la cantidad ordenada es 100 y la demanda 200,

$$\text{Pago} = (p-c)Q = (\$75-\$40)100 = \$3{,}500$$

TABLA C.1 | PAGOS

	DEMANDA, D						
Q	100	200	300	400	500	600	Pago esperado
100	$3,500	$3,500	$ 3,500	$ 3,500	$ 3,500	$ 3,500	$ 3,500
200	$2,500	$7,000	$ 7,000	$ 7,000	$ 7,000	$ 7,000	$ 6,775
300	$1,500	$6,000	$10,500	$10,500	$10,500	$10,500	$ 9,555
400	500	$5,000	$ 9,500	$14,000	$14,000	$14,000	$10,805
500	($500)	$4,000	$ 8,500	$13,000	$17,500	$17,500	$10,525
600	($1,500)	$3,000	$ 7,500	$12,000	$16,500	$21,000	$ 9,750

La parte inferior izquierda de la tabla C.1 muestra los pagos cuando la cantidad ordenada excede a la demanda. En este caso, el pago es la ganancia de ventas, pD, menos la pérdida asociada con el regreso del inventario excedente, $l(Q-D)$, donde l es la diferencia entre el costo y la cantidad reembolsada por cada jerseys que se regresa y $Q-D$ es el número de jerseys regresados. Por ejemplo, cuando la cantidad ordenada es 500 y la demanda 200,

$$\text{Pago} = pD - l(Q-D) = (\$75-\$40)200 - (\$40-\$30)\,(500-200) = \$4{,}000$$

El pago esperado más alto ocurre cuando se ordenan 400 jerseys:

$$\text{Pago esperado}_{400} = (\$500\times 0.05) + (\$5{,}000\times 0.11) + (\$9{,}500\times 0.34)$$
$$+ (\$14{,}000\times 0.34) + (\$14{,}000\times 0.11) + (\$14{,}000\times 0.05)$$
$$= \$10{,}805$$

Problemas

El OM Explorer y POM para Windows están disponibles para todos los estudiantes de la décima edición de este libro. Vaya a **www.pearsonhighered.com/krajewski** para bajar estos paquetes de computadora. Si compró MyOMLab, también tiene acceso al software de modelos activos y mucha ayuda para resolver los problemas siguientes. Verifique con su instructor la mejor manera de usar estos recursos. En muchos casos, el instructor le pedirá que comprenda cómo se hacen los cálculos a mano. Por lo menos, el software proporciona una verificación de sus cálculos. Cuando los cálculos son muy complejos y la meta es interpretar los resultados al tomar una decisión, el software sustituye por completo los cálculos manuales. El software también puede ser un recurso valioso en el futuro, después de terminar el curso.

1. Bold Vision, Inc. fabrica cartuchos de tóner para impresoras y copiadoras. La tasa de demanda es 625 cartuchos EP por semana. La tasa de producción es 1,736 cartuchos EP por semana y el costo de preparación es $100. El valor del inventario es $130 por unidad y el costo de mantener es 20% del valor de inventario. Bold Vision opera 52 semanas al año. ¿Cuál es el tamaño del lote económico de producción?

2. Sharpe Cutter es una compañía pequeña que produce navajas especiales para máquinas cortadoras de papel. La demanda anual de un tipo específico de navaja es 100,000 unidades. La demanda es uniforme durante los 250 días hábiles en el año. Sharpe Cutter produce este tipo de navaja por lotes y, en promedio, puede producir 450 navajas por día. El costo de preparar un lote de producción es $300 y el costo anual de mantener es $1.20 por navaja.
   a) Determine el tamaño del lote económico de producción (ELS).
   b) Determine el costo total anual de preparación y mantener inventario para este artículo.
   c) Determine el TBO, o duración del ciclo, para el ELS.
   d) Determine el tiempo de producción por lote.

3. Suds's Bottling Company embotella, etiqueta y distribuye para varias cervecerías pequeñas. La tasa de demanda para la cerveza Wortman es 600 cajas (24 botellas cada una) por semana. La tasa de producción de embotellado de Suds's es 2,400 cajas por semana y el costo de preparación es $800. El valor de inventario es $12.50 por caja y el costo anual de mantener es 30% del valor de inventario. Las instalaciones de Suds's operan 52 semanas al año. ¿Cuál es el tamaño de lote económico de producción?

4. El equipo Bucks Grande de beisbol de exhibición juega 50 semanas al año y utiliza un promedio de 350 pelotas por semanas. El equipo ordena las pelota a Coopers-Town, Inc., un fabricante de pelotas notorio por su nivel six-sigma de alta calidad en el producto. El costo de ordenar las pelotas es $100 por orden y el costo anual de mantener por pelota es 38% del precio de compra. La estructura de precios de Coopers-Town es:

Cantidad a ordenar	Precio por unidad
1–999	$7.50
1,000–4,999	$7.25
5,000 o más	$6.50

   a) ¿Cuántas pelotas debe comprar el equipo por orden?
   b) ¿Cuál es el costo total anual asociado con la mejor cantidad a ordenar?
   c) Coopers-Town Inc. descubre que, debido a los procesos de manufactura especiales requeridos para las pelotas de beisbol de Buck's, ha subestimado el tiempo de preparación requerido en una máquina de capacidad restringida. Coopers-Town agrega otra categoría de precios a su estructura para motivar la compra de lotes más grandes y con ello espera reducir el número de preparaciones necesarias. Si Bucks compra 15,000 pelotas o más, el precio bajará a $6.25 cada una, ¿Debe Bucks revisar su cantidad a ordenar?

5. Para impulsar las ventas, Pfisher (véase el problema resuelto 2) anuncia una nueva estructura de precios para los paquetes quirúrgicos desechables. Aunque el cambio de precio ya no está disponible para 200 unidades, Pfisher ahora ofrece un descuento más grande si se compran cantidades más grandes. En órdenes de 1 a 499 paquetes, el precio es $50.25 por paquete. Para órdenes de 500 o más, el precio por unidad es $47.80. El costo de ordenar, el costo de mantener y la demanda anual permanecen en $64 por orden, 20% del costo unitario y 490 paquetes por año, respectivamente. ¿Cuál es el nuevo tamaño de lote?

6. La librería universitaria de una prestigiosa universidad compra lapiceros a un mayorista que ofrece descuentos por cantidad para órdenes grandes de acuerdo con el siguiente plan de precios:

Cantidad de la orden	Precio por unidad
0 a 200	$4.00
201 a 2,000	$3.50
2,001 o más	$3.25

   La librería espera una demanda anual de 2,500 unidades. Le cuesta $10 colocar una orden y el costo anual de mantener una unidad en almacén es 30% del precio de la unidad. Determine la mejor cantidad a ordenar.

7. Mac-in-the-Box, Inc. vende equipos de computación por correo o por vía telefónica. Mac vende 1,200 escáneres de cama plana por año. El costo de ordenar es $300 y el costo anual de mantener inventario es 16% del precio del artículo. El fabricante de escáneres ofrece la siguiente estructura de precios para Mac:

Cantidad a ordenar	Precio por unidad
0 a 11	$520
12 a 143	$500
144 o más	$400

   ¿Qué cantidad de la orden minimiza el costo total anual?

8. Como gerente de inventarios, debe decidir la cantidad a ordenar para un artículo que tiene una demanda anual de 2,000 unidades. Colocar la orden le cuesta $20 cada vez. Su costo anual de mantener, expresado como porcentaje del valor de inventario promedio es 20%. Su proveedor le proporciona el siguiente programa de precios:

Cantidad mínima a ordenar	Precio por unidad
1	$2.50
200	$2.40
300	$2.25
1,000	$2.00

   ¿Cuál es la política de ordenar que recomendaría?

9. *Downtown Health Clinic* necesita ordenar vacunas de influenza para la siguiente temporada de gripes. La clínica cobra a sus pacientes $15.00 por vacuna y cada dosis cuesta a la clínica $4.00 al comprarla. El Centro para Control de Enfermedades tiene la política, desde hace tiempo, de comprar las vacunas no utilizadas en $1.00 por dosis. La clínica estima la siguiente distribución de probabilidad para la demanda de la temporada:

Demanda	Probabilidad
2,000	0.05
3,000	0.20
4,000	0.25
5,000	0.40
6,000	0.10

   a) ¿Cuántas vacunas debe ordenar la clínica para maximizar su ganancia esperada?
   b) La clínica intenta determinar si deben participar en un nuevo programa federal en el que el costo de cada dosis se reduce a $2.00. Sin embargo, para participar en el programa, no pueden cobrar más de $10.00 por vacuna. Con base estrictamente en la maximización de ganancias, ¿debería la clínica aceptar participar?

10. Las galletas de Dorothy son recién horneadas y se venden en varias tiendas de especialidad en todo Perth. Cuando tienen un día de horneadas, deben venderlas a precios reducidos. La demanda diaria tiene la siguiente distribución:

Demanda	Probabilidad
50	0.25
150	0.50
200	0.25

    Cada galleta se vende en $1.00 y cuesta hacerla $0.60. La que no se vende para el final del día se puede vender al siguiente día en $0.30 como galletas frías. ¿Cuántas galletas debe hornear cada día?

11. Este año, los Aggies recibirán como invitados a los Tech en el juego de futbol de bienvenida. Con base en las ventas preliminares de boletos, el departamento de atletismo ha pronosticado las ventas de hot dogs en la siguiente tabla. La escuela compra hot dogs premium en $1.50 y los vende durante el juego a $3.00 cada uno. Los hot dogs que quedan después del juego se venderán a $0.50 cada uno a la cafetería de estudiantes de Aggie, donde se usarán para hacer un guisado de salchichas.

Cantidad de ventas	Probabilidad
2,000	0.10
3,000	0.30
4,000	0.30
5,000	0.20
6,000	0.10

    Utilice una matriz de pagos para determinar el número de hot dogs que deben comprar para el juego.

12. Bold Vision, Inc. (del problema 1) debe comprar tóner a un proveedor del área. La compañía no desea tener la materia prima en inventario y por ello solo compra suficiente tóner para satisfacer la demanda de cada lote individual de cartuchos. Cada cartucho de tóner requiere una libra de tóner. El proveedor de materia prima ofrece a Bold Vision un descuento de $2.00 por cada libra, si la compañía ordena al menos 2,000 libras a la vez. ¿Debe Bold Vision aceptar esta oferta y alterar su cantidad de compra de tóner?

Referencias seleccionadas

Arnold, Tony J.R., Stephen Chapman y Lloyd M. Clive. *Introduction to Materials Management*, 7a ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2012.

Axsäter, Sven. *Inventory Control*, 2a ed. Nueva York: Springer Science + Business Media, LLC, 2006.

Bastow, B.J. "Metrics in the Material World". *APICS—The Performance Advantage* (mayo, 2005), pp. 49-52.

Benton, W.C. *Purchasing and Supply Chain Management*, 2a ed. Nueva York: McGraw-Hill, 2010.

Callioni, Gianpaolo, Xavier de Montgros, Regine Slagmulder, Luk N. Van Wassenhove y Linda Wright. "Inventory-Driven Costs". *Harvard Business Review* (marzo, 2005), pp. 135-141.

Cannon, Alan R. y Richard E. Crandall. "The Way Things Never Were". *APICS—The Performance Advantage* (enero, 2004), pp. 32-35.

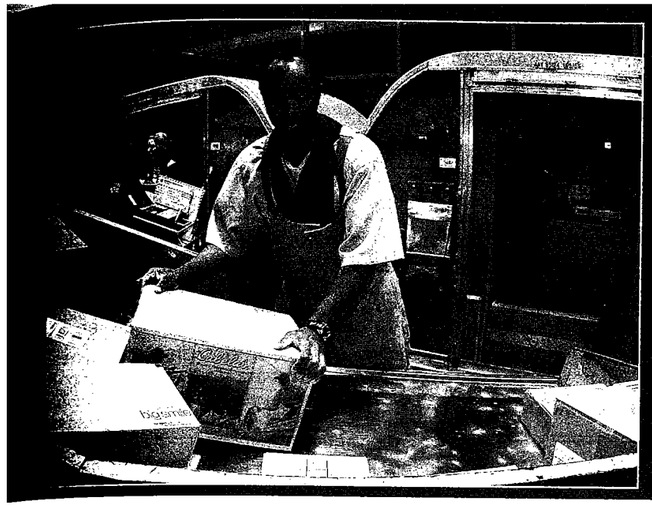
Hartvigsen, David. *SimQuick: Process Simulation with Excel*, 2a ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2004.

Manikas, Andrew. "Fighting Pests with the EOQ", *APICS Magazine* (abril, 2007), pp. 34-37.

Operations Management Body of Knowledge. Falls Church, VA: American Production and Inventory Control Society, 2009.

Timme, Stephen G. y Christine Williams-Timme. "The Real Cost of Holding". *Supply Chain Management Review* (julio/agosto, 2003), pp. 30-37.

Walters, Donald. *Inventory Control and Management*, 2a ed. West Sussex, England: John Wiley and Sons, Ltd, 2003.



10

DISEÑO DE LA CADENA DE SUMINISTRO

Un empleado de UPS carga paquetes en contenedores de carga aérea en el UPS Worldport All Points Internation Hub en Louisville, Kentucky. Muchas compañías contratan sus procesos de distribución con UPS por su experiencia en esa función crucial.

Nikon

Nikon es un fabricante de instrumentos ópticos de precisión en cuatro líneas de productos, de 10 mil millones al año. Sus productos de procesamiento de imágenes (Imaging Products) incluyen una gama de cámaras digitales SLR y la nueva cámara compacta Coolpix. Sus productos ópticos deportivos incluyen binoculares y el nuevo telémetro de láser para golfistas. Sus equipos de precisión cubren escáneres utilizados en la fabricación de semiconductores e instrumentales que incluyen una variedad de microscopios. Las líneas de productos tienen sus propias cadenas de suministros porque los proveedores y requerimientos difieren. La línea de procesamiento de imágenes, debido a su volatilidad por la innovación tecnológica, es un caso en el que la cadena de suministro existente tuvo que rediseñarse para que fuera más flexible y rápida. Conforme se desarrollaron nuevos productos digitales, Nikon quiso tener la capacidad de entregar esos productos a las tiendas con rapidez para poder seguir el paso de la demanda de consumidores conocedores de tecnología y fotógrafos profesionales. Sin embargo, crear una nueva cadena de suministro con esas características significaría una carga para la infraestructura existente y pondría en peligro el servicio al cliente. Nikon dio el extraño paso de contratar la distribución de toda la línea de productos electrónicos para el consumidor a un tercero que proporcionara la logística (3PL), en este caso United Parcel Service (UPS).

United Parcel Service ayudó a Nikon a crear una estrategia de distribución completamente nueva que mueve productos digitales a las tiendas en todo Estados Unidos, América Latina y el Caribe. La jornada para el envío comienza en los centros de fabricación en Corea, Japón e Indonesia, continúa como carga aérea o por mar, pasa aduanas y se dirige a Louisville, Kentucky, que es la conexión con

"todos los puntos" de UPS para las operaciones globales. En este punto, UPS realiza algunas operaciones finales de ensamblaje para Nikon. Por ejemplo, puede agregar accesorios como baterías y cargadores o reempacar los productos para cumplir los requerimientos para los exhibidores de las tiendas. Por último, envía los productos a miles de tiendas en Estados Unidos, América Latina y el Caribe.

El rediseño de la cadena de suministro no solo mejora el flujo de productos de origen a destino, también proporciona a Nikon información oportuna del estado de los envíos y noticias adelantadas del estado de las entregas en todo el ámbito de la cadena de suministros, incluidas las tiendas. Armada con esta información, Nikon puede hacer ajustes en sus tiempos de entrega para aprovechar las oportunidades de venta que de otra manera perdería. A pesar de la complejidad de la cadena, los productos que salen de las fábricas de Nikon ahora pueden estar en las repisas de venta en tan poco tiempo como son dos días.

Fuentes: "UPS Supply Chain Solutions: Nikon Focuses on Supply Chain Innovation—and Makes New Product Distribution a Snap", **www.ups-scs.com**, 2005; **www.Nikon.com**, 2011.

METAS DE APRENDIZAJE *Después de estudiar este capítulo, usted será capaz de:*

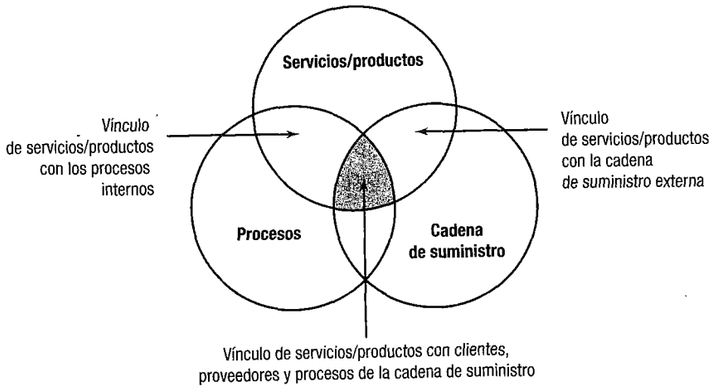
1. Explicar la importancia estratégica del diseño de la cadena de suministro.
2. Identificar la naturaleza de las cadenas de suministro para quienes proporcionan servicios, lo mismo que para los fabricantes.
3. Definir las medidas de desempeño críticas de la cadena de suministro.
4. Explicar las estrategias de la personalización masiva (*mass customization*) y sus implicaciones para el diseño de la cadena de suministro.
5. Definir los factores de decisión importantes que deben considerarse al emplear una estrategia de subcontratación (*outsourcing*) o de deslocalización de los procesos (*offshoring*)
6. Explicar en qué difieren las cadenas de suministro eficientes y las cadenas de suministro de respuesta rápida y los entornos más adecuados para cada tipo de cadena.

Nikon, en sociedad con UPS, un tercero logístico (3PL), es un excelente ejemplo de cómo una cadena de suministro puede diseñarse, exitosamente, a la medida de las necesidades de mercado de un producto dinámico. Una *cadena de suministro* es una serie interrelacionada de procesos dentro de una empresa y a través de otras empresas que produce un servicio o producto para satisfacer a los clientes. De manera más específica, es una red de flujos de servicios, materiales, dinero e información que liga la relación de una empresa con sus clientes, la satisfacción de las órdenes y los procesos de relación de los proveedores con los de sus proveedores y clientes. No obstante, es importante observar que una empresa como Nikon puede tener múltiples cadenas de suministro, dependiendo de la mezcla de servicios o productos que fabrica. Un proveedor en una cadena de suministro puede no ser un proveedor en otra cadena, ya que el servicio o producto puede ser diferente o el proveedor simplemente no puede negociar un contrato exitoso.

diseño de la cadena de suministro
Diseñar la cadena de suministro de una empresa para cumplir con las prioridades competitivas de su estrategia de operaciones.

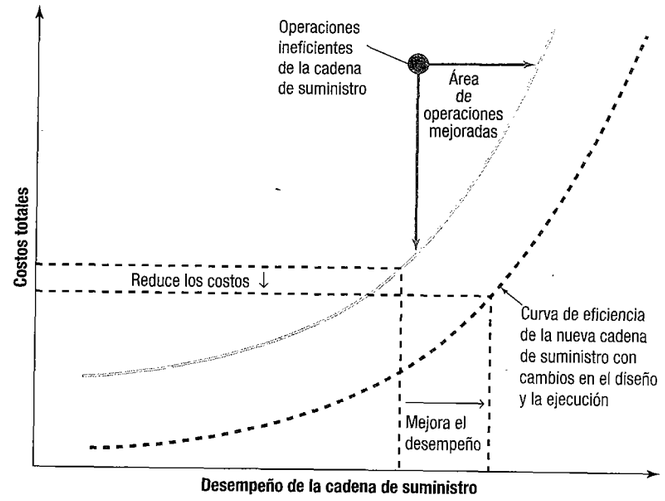
La estrategia de operaciones de una empresa y sus prioridades competitivas son la guía para la elección de la cadena de suministro. La figura 10.1 muestra tres áreas primordiales que atender al crear una cadena de suministro efectiva.

▼ **FIGURA 10.1**
Creación de una cadena de suministro efectiva



1. *Vínculo de servicios/productos con los procesos internos.* Las partes 1 y 2 de este libro han mostrado la manera en que las empresas coordinan las decisiones de los procesos internos con las prioridades competitivas de los servicios o productos cubiertos por la estrategia de operaciones.
2. *Vínculo de servicios/productos con la cadena de suministro externa.* Las prioridades competitivas asignadas a los servicios o productos de la empresa deben reflejarse en el diseño de la red de proveedores.
3. *Vínculo de servicios/productos con clientes, proveedores y procesos de la cadena de suministro.* Los procesos de la empresa, que le permiten desarrollar lo que el cliente quiere, interactúan con los proveedores, entregan servicios o productos, interactúan con los clientes, abordan aspectos ambientales y éticos y proporcionan información y herramientas de planeación necesarias para ejecutar la estrategia de operaciones, son el pegamento que mantiene unida una cadena de suministro efectiva.

La administración de la cadena de suministro, la sincronización de los procesos de una empresa con los de sus proveedores y clientes para igualar el flujo de materiales, servicios e información con la demanda es una habilidad crucial en la mayoría de las organizaciones. Una parte clave de la cadena de suministro es el **diseño de la cadena de suministro**, que busca diseñar la cadena de suministro de una empresa de manera que cumpla con las prioridades competitivas de su estrategia de operaciones. Para comprender mejor la importancia del diseño de la cadena de suministro, considere la figura 10.2 que conceptualmente muestra los retos que enfrentan los administradores de la cadena de suministro. La línea curva continua es una *curva de eficiencia*, que muestra el balance entre los costos y el desempeño para el diseño de la cadena de suministro actual si esa cadena de suministro opera con toda la eficiencia posible. Ahora suponga que su empresa grafica sus costos y desempeño reales, como lo indica la línea curva punteada. Está lejos de la curva de eficiencia, lo cual es bastante común. El reto es mover las operaciones en el área sombreada tan cerca de la curva como sea posible, lo que puede lograrse mejorando los pronósticos, la administración de inventarios, la planeación y programación de operaciones y la planeación de recursos. Ya estudiamos la administración de inventarios; los otros temas son los que siguen. Sin embargo, los pasos cuánticos en el mejoramiento pueden obtenerse mediante la mejora del diseño de la cadena de suministro de acuerdo con una estrategia de operaciones sólida, que mueva la curva hacia la línea curva punteada. La meta es reducir costos al igual que aumentar el desempeño. Los aspectos del diseño incluyen colocación de inventarios, personalización masiva, subcontratación, colaboración de la cadena de suministro, selección de proveedores, cadenas de suministro de lazo cerrado y localización de instalaciones que son solo algunos temas que analizamos en este y los dos capítulos siguientes. En este capítulo, también se verán las medidas de desempeño más importantes de la cadena de suministro y se mostrará cómo una cadena de suministro sólida puede mejorar medidas financieras importantes.



▲ **FIGURA 10.2**
Curva de eficiencia de la cadena de suministro

Diseño de la cadena de suministro en toda la organización

La creación de una cadena de suministro global implica más que los administradores de las cadenas diseñen infraestructura o busquen a los mejores proveedores. Existen también presiones organizacionales internas de grupos como ventas, marketing y desarrollo de productos que necesitan reconocerse. Estas presiones son: **1.** volúmenes de ventas dinámicos, **2.** niveles de servicio a clientes y **3.** proliferación de servicio/producto.

Volúmenes de ventas dinámicos Uno de los aspectos operativos más costosos de la cadena de suministro es tratar de cumplir las necesidades de volúmenes de ventas volátiles. Con frecuencia, esto implica inventarios excesivos, personal subutilizado u opciones de entrega más costosas para cumplir las demandas del cliente a tiempo. Mientras que algunas veces estas demandas volátiles son ocasionadas por fuentes externas, como los clientes mismos, otras veces la causa es interna, por las promociones de fin de mes. El diseño de la cadena de suministro debe involucrar una fuerte colaboración entre los altos administradores en la organización, de manera que se eviten las opciones de cadenas de suministro innecesariamente costosas. Se analizarán las implicaciones de la dinámica de la cadena de suministro con más detalle en el capítulo 12, "Integración de la cadena de suministro".

Niveles de servicio al cliente Se analizaron los niveles de servicio al cliente en su relación con los inventarios internos de la organización en el capítulo 9, "Administración del inventario de la cadena de suministro". Ahora nos centraremos en las presiones organizacionales que emanan de los grupos de ventas y marketing por tener un servicio al cliente superior para los clientes de la organización. Preguntas como "¿qué nivel de servicio debe garantizarse?" o "¿qué tan rápidas deben ser nuestras entregas?" necesitan discusiones colaborativas por parte de los grupos de ventas, marketing y finanzas. Las respuestas a estas preguntas inciden en el diseño de la cadena de suministro, en particular los puntos de suministros y la selección de los proveedores.

Proliferación de servicio/producto Los grupos de ventas proporcionan el momento para crear nuevos servicios o productos porque están en contacto cercano con los clientes y sus necesidades.

Creación de valor mediante la administración de operaciones

↓

Utilización de las operaciones para competir
Administración de proyectos

Administración de procesos

↓

Estrategia de procesos
Análisis de procesos
Calidad y desempeño
Planeación de capacidad
Administración de restricciones
Sistemas esbeltos

Administración de la cadena de suministro

↓

Administración del inventario de la cadena de suministro
Diseño de la cadena de suministro
Decisiones de localización de la cadena de suministro
Integración de la cadena de suministro
Sustentabilidad de la cadena de suministro y logística humanitaria
Pronósticos
Planeación y programación de las operaciones
Planeación de recursos

La supervivencia de cualquier organización depende del desarrollo de nuevos mercados. Sin embargo, agregar más servicios o productos con frecuencia agrega complejidad a la cadena de suministro. No es raro encontrar que una proporción relativamente grande de los SKU contribuye solo con un pequeño porcentaje de los ingresos. En general, estos nichos de servicios o productos tienen bajos volúmenes y por lo tanto producirlos, venderlos y entregarlos cuesta más. Debe lograrse un equilibrio bien pensado entre el costo de operar la cadena de suministro y la necesidad de comercializar nuevos servicios o productos.

El diseño de la cadena de suministro debe ser un esfuerzo colaborativo del director ejecutivo hacia abajo. Todas las áreas funcionales tienen un interés en las cadenas de suministro de una organización.

Cadenas de suministro para servicios y manufactura

Toda empresa u organización es un miembro de alguna cadena de suministro. En esta sección mostramos las similitudes y diferencias entre las cadenas de suministro para servicios y manufactura.

Servicios

El diseño de la cadena de suministro para un proveedor de servicios es impulsado por la necesidad de proporcionar apoyo a los elementos esenciales de los distintos servicios que entrega. Considere el ejemplo de "Flores sobre pedido", un florista con 27 tiendas en la gran área metropolitana de Boston.[1]

Chuck Pefley/Alamy

Una empleada en un almacén de un invernadero comercial de flores empaca flores para entrega local. El invernadero actúa como proveedor de los supermercados y floristas al menudeo.

Los clientes pueden colocar órdenes para arreglos de flores personalizados visitando una de las tiendas, usando el número telefónico sin costo o en la página web del florista. El número 800 y la página web operan a través de un proveedor de servicios de Internet, que toma las órdenes y las pasa al florista. Los arreglos se producen en un centro de distribución y para las entregas se emplea la mensajería local o FedEx, si la entrega es fuera del área de Boston. En los arreglos se usan flores frescas que llegan desde todo el mundo.

Lo que hace diferente a "Flores sobre pedido" de otros servicios florales como Teleflora o FTD es que prepara todos los arreglos y puede enviar las órdenes fuera del área para entrega el siguiente día en cualquier lugar del país. Para hacer negocios, el florista debe tener una cadena de suministro que provea todas las tiendas, un centro de envíos, computadoras, equipo en puntos de venta y empleados. Debe comprar flores de origen global, así como materiales para los arreglos, como vasijas, canastas, tarjetas de felicitación y materiales de empaque. El florista debe arreglar las flores según las órdenes de los clientes y asegurarse de que el arreglo se entregue como lo especifica el cliente, utilizando los servicios locales o FedEx. El diseño de su cadena de suministro debe proporcionar conveniencia, que es facilitada por la localización de las tiendas y la oportunidad de colocar órdenes vía Internet o el número telefónico gratis.

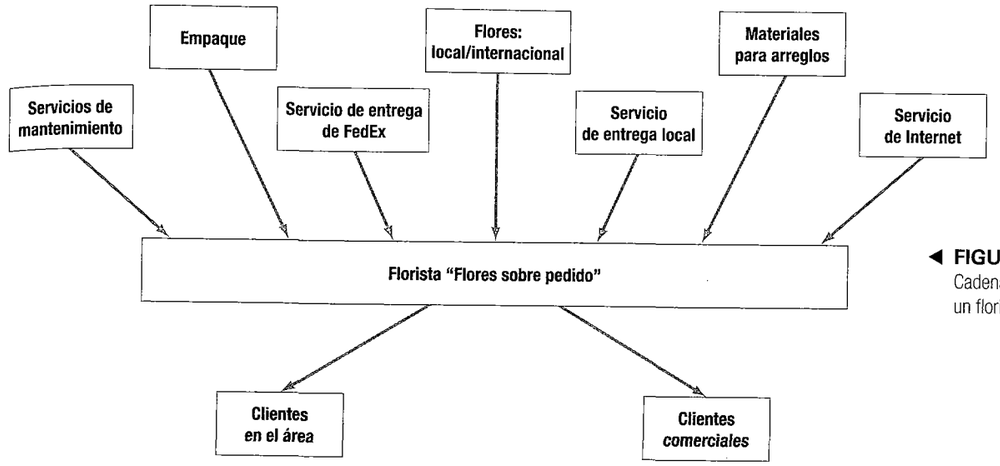
La figura 10.3 ilustra una cadena de suministro simplificada para el florista. Cada proveedor, por supuesto, tiene su propia cadena (no mostrada). Por ejemplo, el proveedor de los materiales para los arreglos puede obtener las canastas de un proveedor y las vasijas de otro. Los proveedores en la cadena del florista juegan un papel integral en su habilidad para cumplir sus prioridades competitivas, como calidad superior, entrega rápida y personalización.

Manufactura

Un propósito fundamental del diseño de proveedores para los fabricantes es controlar el inventario administrando el flujo de materiales. El fabricante típico gasta más de 60% de sus ingresos totales de ventas en servicios y materiales comprados, mientras que el proveedor de servicios típico gasta solo de 30 a 40%. Como los materiales comprenden una componente tan grande de las ventas en dinero, los fabricantes pueden recoger grandes ganancias con pequeñas reducciones en el costo de materiales, lo cual hace que la cadena de suministro sea un arma competitiva clave.

La cadena de suministro para una empresa de manufactura puede ser complicada, como lo ilustra la figura 10.4. Sin embargo, la cadena de suministro descrita es una sobresimplificación porque muchas compañías tienen cientos, si no es que miles de proveedores. En este ejemplo, la empresa está en Irlanda y tiene tratos con una cadena de suministro internacional. Además, es

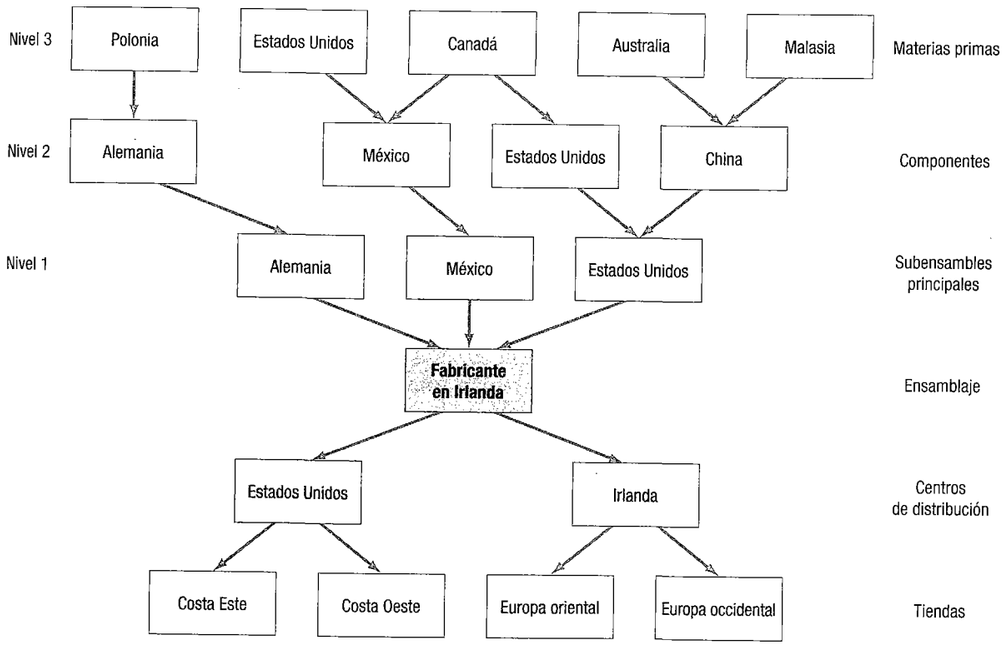
[1] El florista descrito es real, pero el nombre se cambió.



◀ **FIGURA 10.3**
Cadena de suministro para un florista

propietario de sus propios servicios de distribución y transporte. Los proveedores con frecuencia se identifican por su posición en la cadena de suministro. Aquí, el nivel uno de proveedores proporciona los subensambles principales que se ensamblan en empresas de manufactura, el nivel dos de proveedores proporciona al nivel uno componentes, etc. No todas las compañías tienen el mismo número de niveles en sus cadenas de suministro. Por ejemplo, las compañías que fabrican productos según las especificaciones del cliente suelen carecer de centros de distribución como parte de su cadena de suministro. Esas compañías, con frecuencia, envían sus productos directamente a sus clientes.

▼ **FIGURA 10.4**
Cadena de suministro para una empresa de manufactura



Medidas de desempeño de la cadena de suministro

Los administradores necesitan medidas de desempeño para evaluar las implicaciones de cambios en una cadena de suministro. Antes de analizar las decisiones importantes del diseño de la cadena de suministro, definimos las medidas de inventario típicas y las medidas financieras utilizadas para monitorear el desempeño de la cadena y evaluar diseños alternativos.

Medidas de inventarios

Todos los métodos de medición de inventarios comienzan con la cuenta física de unidades, volumen o peso. Sin embargo, las medidas de inventarios se reportan de tres maneras básicas: **1.** valor de inventario agregado promedio, **2.** semanas de suministros y **3.** rotación de inventario.

valor de inventario agregado promedio
Valor promedio total de todos los artículos mantenidos en el inventario de una empresa.

El **valor de inventario agregado promedio** es el valor promedio total de todos los artículos mantenidos en inventario por una empresa. Expresamos los valores en dólares en esta medida de inventarios al costo porque después podemos sumar los valores de los artículos individuales de *materias primas*, trabajo en proceso y productos terminados. Los dólares de las ventas finales tienen significado solo para los servicios o productos finales y no se pueden usar para todos los artículos en inventario. Es un promedio porque usualmente representa la inversión en inventario durante algún periodo. Suponga que una tienda mantiene los artículos A y B en inventario. Una unidad de A puede valer solo unos cuantos dólares, mientras que una unidad de B puede estar valuada en cientos de dólares debido a la mano de obra, la tecnología y otras operaciones de valor agregado en la fabricación del producto. Esta medida para un inventario, que consiste nada más en los artículos A y B, es:

$$\text{Valores de inventario agregado promedio} = \begin{pmatrix}\text{número de unidades de A}\\ \text{típicamente disponibles}\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\text{valor de cada unidad}\\ \text{del artículo A}\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}\text{número de unidades de B}\\ \text{típicamente disponibles}\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\text{valor de cada unidad}\\ \text{del artículo B}\end{pmatrix}$$

Sumando sobre todos los artículos en un inventario, este valor total indica a los administradores cuánto de los activos de una empresa está comprometido en el inventario. Las empresas fabricantes suelen tener alrededor de 25% de sus activos totales en inventario, mientras que los mayoristas y minoristas promedian cerca de 75 por ciento.

Hasta cierto punto, los administradores pueden decidir si el valor del inventario agregado es demasiado bajo o alto con comparaciones históricas o de la industria o utilizando el juicio administrativo. Sin embargo, una mejor medida de desempeño tomaría la demanda en cuenta porque mostraría cuánto tiempo reside el inventario en la empresa. Las **semanas de suministro** es una medida de inventario que se obtiene dividiendo el valor del inventario agregado promedio entre las ventas por semana al costo. (En ciertas operaciones de bajo inventario, días o incluso horas son mejores unidades de tiempo para medir el inventario). La fórmula (expresada en semanas) es:

semanas de suministro
Medida de inventarios obtenida dividiendo el valor de inventario agregado promedio entre las ventas por semana al costo.

$$\text{Semanas de suministro} = \frac{\text{valor de inventario agregado promedio}}{\text{semanas de ventas (al costo)}}$$

Aunque el numerador incluye el valor de todos los artículos que una empresa guarda en inventario (materias primas, WIP y bienes terminados), el denominador representa solo los bienes terminados vendidos al costo en lugar de al precio de venta después de aumentos y descuentos. Este costo se conoce como el *costo de bienes vendidos*.

rotación del inventario
Medida de inventario obtenida dividiendo las ventas anuales al costo entre el valor de inventario agregado promedio mantenido durante el año.

La **rotación del inventario** (o *vueltas*) es una medida de inventarios que se obtiene dividiendo las ventas anuales al costo entre el valor del inventario agregado promedio mantenido durante el año, es decir,

$$\text{Semanas de suministro} = \frac{\text{ventas anuales (al costo)}}{\text{valor de inventario agregado promedio}}$$

El "mejor" nivel del inventario, aun cuando se exprese como rotación, no se puede determinar con facilidad. Un buen punto de partida es hacer una comparación con las empresas líderes en una industria.

EJEMPLO 10.1 Cálculo de medidas de inventario

MyOMLab
El tutor 10.1 en MyOMLab proporciona un nuevo ejemplo para practicar el cálculo de las medidas del inventario.

La Eagle Machine Company promedió $2 millones en inventario el año pasado y el costo de los bienes vendidos fue 10 millones. La figura 10.5 muestra el desglose de los materiales, trabajo en proceso y bienes terminados en inventario. La mejor rotación de inventario en la industria es seis vueltas por año. Si la compañía opera 52 semanas por año, ¿cuántas semanas de suministro mantiene en inventario?, ¿cuál fue la rotación del inventario? Y ¿qué debe hacer la compañía?

Costo de bienes vendidos	$10,000,000
Semanas de operación	52

	Artículo número	Nivel promedio	Valor unitario	Valor total
Materias primas	1	1,400	$50.00	$70,000
	2	1,000	$32.00	$32,000
	3	400	$60.00	$24,000
	4	2,400	$10.00	$24,000
	5	800	$15.00	$12,000
Trabajo en proceso	6	320	$700.00	$224,000
	7	160	$900.00	$144,000
	8	280	$750.00	$210,000
	9	240	$800.00	$192,000
	10	400	$1,000.00	$400,000
Bienes terminados	11	60	$2,000.00	$120,000
	12	40	$3,500.00	$140,000
	13	50	$2,800.00	$140,000
	14	20	$5,000.00	$100,000
	15	40	$4,200.00	$168,000
Total				$2,000,000

Ventas semanales promedio al costo	$192,308
Semanas de suministros	10.4
Rotación del inventario	5.0

◀ **FIGURA 10.5**
Cálculo de las medidas de inventario con el Solver *Inventory Estimator*

SOLUCIÓN
El valor del inventario agregado promedio es $2 millones, lo que se traduce en 10.4 semanas de suministros y cinco vueltas por año, calculados como sigue:

$$\text{Semanas de suministro} = \frac{\$2 \text{ millones}}{(\$10 \text{ millones})/(53 \text{ semanas})} = 10.4 \text{ semanas}$$

$$\text{Rotación del inventario} = \frac{\$10 \text{ millones}}{\$2 \text{ millones}} = 5 \text{ vueltas por año}$$

PUNTO DE DECISIÓN
El análisis indica que la administración debe mejorar las vueltas del inventario 20%. La administración debe mejorar su proceso de satisfacción de órdenes para reducir el inventario de bienes terminados. Las operaciones de la cadena de suministro también pueden mejorar para reducir la necesidad de tener tanto inventario de materias primas y trabajo en proceso. Tomará una reducción de inventario de alrededor de 16% para lograr la meta de seis vueltas por año. Sin embargo, los inventarios no tienen que reducirse tanto si las ventas se incrementan. Si el departamento de ventas tiene la meta de aumentar las ventas 8% ($10.8 millones), los inventarios se reducen 10% ($1.8 millones) para obtener seis rotaciones al año. La administración ahora puede realizar un análisis de sensibilidad para ver el efecto que las reducciones del inventario de artículos específicos o incrementos en las ventas anuales tienen sobre el suministro semanal o la rotación del inventario.

Medidas financieras

La manera en que se diseña y administra la cadena de suministro tiene un enorme impacto financiero en la empresa. El inventario es una inversión porque se necesita para uso futuro; pero el inventario compromete fondos que podrían utilizarse de manera más rentable en otras operaciones. La figura 10.6 muestra cómo las decisiones de la cadena de suministro pueden afectar las medidas financieras.

Ingreso total Las medidas de desempeño de la cadena de suministro relacionadas con el tiempo, que es una dimensión crucial de las operaciones de la cadena, tienen implicaciones financieras. Muchos proveedores de servicios y fabricantes miden el porcentaje de entregas a tiempo de sus servicios o productos a los consumidores, al igual que de los servicios y materiales de sus proveedores. Aumentar el porcentaje de entregas a tiempo a los clientes, por ejemplo, incrementará el *ingreso total* porque los clientes satisfechos comprarán más servicios y productos de la empresa.

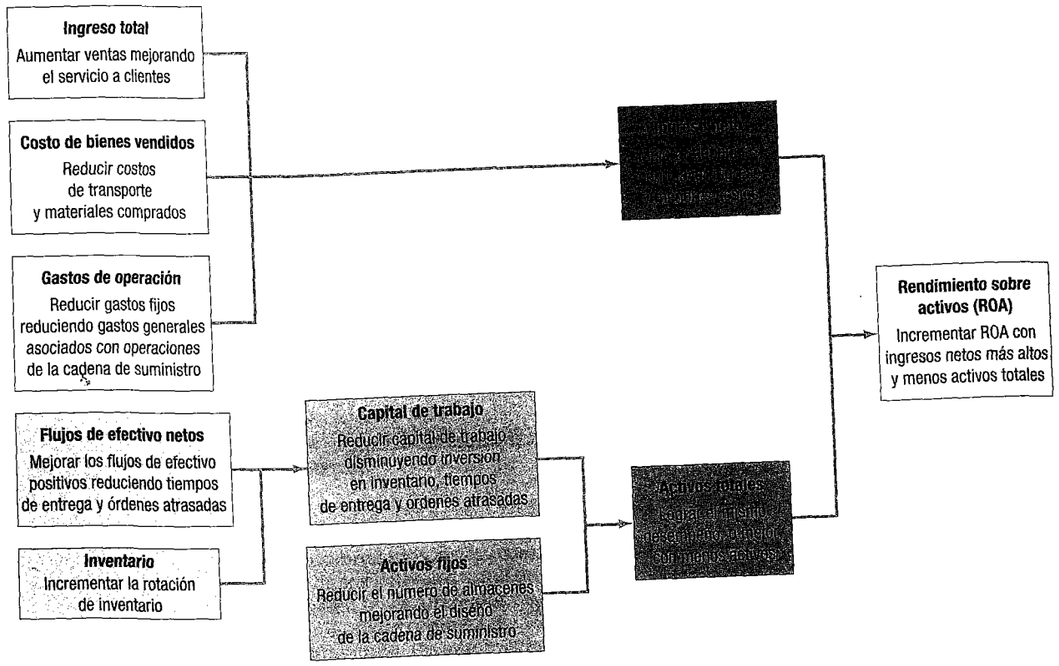


FIGURA 10.6 ▲
Manera en que las decisiones de la cadena de suministro pueden afectar el ROA

Costo de bienes vendidos Poder comprar materiales o servicios a mejor precio y transformarlos con mayor eficiencia en servicios o productos mejorará la medida del *costo de los bienes vendidos* de la empresa y en último caso su *ingreso neto*. Estas mejoras también tendrán efecto sobre el *margen de contribución*, que es la diferencia entre el precio y los costos variables para producir un servicio o producto. Reducir los costos de producción, materiales, transporte y baja calidad aumenta el margen de contribución, permitiendo obtener mayores ganancias. Los márgenes de contribución con frecuencia se usan como información para las decisiones respecto al portafolio de servicios o productos que ofrece la empresa.

Gastos de operación Los gastos de ventas, los gastos fijos y la depreciación se consideran gastos de operación. Diseñar una cadena de suministro con una inversión de capital mínima puede reducir los cargos por depreciación. Los cambios en la infraestructura de la cadena de suministro afectan los gastos generales, que se consideran un gasto fijo.

Flujo de efectivo El diseño de la cadena de suministro puede mejorar los flujos de efectivo netos si nos enfocamos en reducir los tiempos de entrega y las órdenes atrasadas. Internet trae al primer plano otra medida financiera relacionada con los flujos de efectivo: *efectivo a efectivo* (*cash to cash*) es el tiempo que transcurre entre pagar por los servicios y materiales necesarios para producir un servicio o producto y recibir el pago por ello. Cuanto más corto sea ese tiempo, mejor será la posición de los *flujos de efectivo* de la empresa porque necesita menos capital de trabajo. La empresa puede entonces utilizar los fondos liberados para otros proyectos o inversiones. El rediseño del proceso de colocación de la orden, de manera que el pago por el servicio o producto por el cliente se haga en el momento en que se coloca la orden, puede reducir el tiempo de retraso. Por el contrario, facturar al cliente después de realizar el servicio o enviar la orden aumenta la necesidad de capital de trabajo. La meta es tener una situación negativa de efectivo a efectivo, que es posible cuando el cliente paga por el servicio o producto antes de que la empresa tenga que pagar por los recursos y materiales para producirlo. En ese caso, la empresa debe tener inventarios del proveedor a consignación, lo que permite pagar por los materiales conforme se utilizan.

Capital de trabajo Las semanas de inventario o la rotación del inventario se reflejan en otra medida financiera, el *capital de trabajo*, que es dinero usado para financiar las operaciones en marcha. Disminuir las semanas de suministros o aumentar la rotación del inventario reduce el capital de trabajo que financia los inventarios. Las reducciones en el capital de trabajo se pueden lograr mejorando los procesos de relación con el cliente, satisfacción de órdenes o de relación con el proveedor. Por ejemplo, reducir los tiempos de entrega del proveedor tiene el efecto de disminuir las semanas de suministros y aumentar las vueltas del inventario. Igualar los flujos de materiales de entrada con los de salida es más sencillo porque se pueden usar pronósticos de plazo más corto, más confiables para la demanda.

Rendimiento sobre activos El diseño y administración de la cadena de suministro para reducir la inversión en inventario agregado o las inversiones fijas como almacenes reducirá la porción de los *activos totales* en el estado de resultados de la empresa. Una medida financiera importante es el *rendimiento sobre activos* (*ROA*), que es el ingreso neto dividido entre los activos totales. En consecuencia, reducir la inversión en inventario agregado y la inversión fija o incrementar el ingreso neto con una mejor administración del costo, aumentará el ROA. Las técnicas para reducir el inventario, el transporte y los costos de operación relacionados con el uso de recursos y la programación se estudian en los capítulos siguientes.

Ahora abordamos un análisis de varias decisiones de diseño de la cadena de suministro y sus implicaciones para el desempeño de la empresa.

Ubicación del inventario

Una decisión fundamental en el diseño de la cadena de suministro que afecta el desempeño de la empresa es dónde colocar el inventario de bienes terminados. La ubicación del inventario puede tener implicaciones estratégicas, como en el caso de las compañías internacionales que colocan *centros de distribución* (CD) en otros países para anticiparse a la competencia local reduciendo los tiempos de entrega al cliente. Sin embargo, el tema para cualquier empresa que fabrica productos estandarizados es dónde poner el inventario en la cadena de suministro. En un extremo, la empresa puede tener una **ubicación centralizada**, que significa mantener todo el inventario de un producto en un solo lugar, como la planta de manufactura o un almacén, y enviar directamente a cada uno de sus clientes. La ventaja viene de lo que se conoce como **inventario compartido**, que es una reducción del inventario y del inventario de seguridad debido a la fusión de demandas inciertas y variables de los clientes. Una demanda inesperada más alta de un cliente puede compensarse con una demanda inesperada más baja de otro, de manera que la demanda total permanece bastante estable. Una desventaja de colocar todo el inventario en un lugar centralizado es el costo agregado de enviar cantidades pequeñas no económicas directamente a los clientes en lugares lejanos.

Otro enfoque es utilizar la **ubicación adelantada**, que significa localizar el inventario más cerca del cliente en un almacén, un CD, un mayorista o un minorista. La ubicación adelantada puede tener dos ventajas —tiempos de entrega más cortos y menores costos de transporte— que pueden estimular las ventas. No obstante, cuando el inventario se ubica más cerca del cliente, como en un CD, el efecto de agrupar el inventario se reduce porque los inventarios de seguridad del artículo deben aumentar para tomar en cuenta las demandas inciertas en cada CD, en lugar de solo en una ubicación. De cualquier forma, el tiempo para llevar el producto al cliente se reduce. En consecuencia, el servicio al cliente es más rápido y la empresa puede aprovechar envíos más grandes menos costosos desde la planta hasta los CD, a costa de tener inventarios totales más grandes.

ubicación centralizada
Mantener todo el inventario de un producto en un solo lugar como la planta de manufactura o un almacén y enviarlo directamente a cada uno de los clientes.

inventario compartido (*inventory pooling*)
Reducción del inventario y el inventario de seguridad debido a la fusión de demandas variables de los clientes.

ubicación adelantada
Localizar el inventario más cerca de los clientes en un almacén, CD, con un mayorista o un minorista.

Personalización masiva

La cadena de suministro de una empresa debe ser capaz de tomar en cuenta ciertas prioridades competitivas que le harán ganar órdenes de los clientes. Con frecuencia, los clientes quieren más que una amplia variedad de servicios o productos: quieren un servicio o producto personalizado y lo quieren rápido. Por ejemplo, suponga que usted desea pintar su sala con un nuevo color. Necesita complementar los muebles que tiene con la decoración y la alfombra. Va a la tienda de pinturas del área y selecciona un color entre varios catálogos que contienen todos los colores del arcoiris. La tienda puede proporcionarle toda la pintura que necesita en el color seleccionado mientras espera. ¿Cómo puede la tienda proporcionar ese servicio de manera económica? Sin duda, la tienda no puede almacenar miles de colores en cantidades suficientes para cualquier trabajo. La tienda tiene los colores base y los pigmentos por separado y los mezcla conforme los necesite, suministrando una variedad ilimitada de colores sin mantener el inventario requerido para igualar las necesidades de color particulares de un cliente. El vendedor de pinturas practica una estrategia conocida como *personalización masiva*, mediante la cual un proceso altamente divergente genera una gama amplia de servicios o productos personalizados con costos razonablemente bajos. En esencia, la empresa permite al cliente seleccionar de una variedad de opciones estándar para crear el servicio o producto de su elección.

Ventajas competitivas

Una estrategia de personalización masiva tiene tres ventajas competitivas importantes:

- *Administración de la relación con el cliente.* La personalización masiva requiere información detallada del cliente para poder ofrecerle el servicio o producto ideal. La empresa puede conocer mucho de sus clientes con los datos que recibe. Una vez que el cliente está en la base de datos, con el tiempo la empresa puede rastrearlos. Obtiene una ventaja competitiva mediante esta relación cercana con el cliente basada en la estrategia de personalización masiva.
- *Eliminación de inventario de productos terminados.* Producir al gusto de cada cliente es más eficiente que producir según un pronóstico, porque los pronósticos no son perfectos. El

ROBERTO GONZALEZ KRT/Newscom

En la compañía de muñecas My Twinn, las niñas pueden crear su propia muñeca en Internet. Los artesanos pueden incluso igualar la cara de la muñeca con la de la niña si se les proporciona una foto. My Twinn continúa vendiendo ropa y accesorios conforme la muñeca "crece" con su humana gemela.

truco es tener todo lo que se necesita para producir la orden con rapidez. Una tecnología que usan varias empresas para la colocación de órdenes es un sistema de software llamado *configurador*, que da a las empresas y los clientes acceso sencillo a los datos relevantes de las opciones disponibles para un servicio o producto. Dell utiliza un configurador que permite a los clientes diseñar su propia computadora a partir de un conjunto estándar de componentes que están disponibles. Una vez que se coloca la orden, el producto se ensambla y entrega. Mediante promociones de ventas, la empresa puede ejercer cierto control sobre los requerimientos para el inventario de componentes alejando a los clientes de las opciones que tienen faltantes en favor de las opciones que están en inventario. Esta capacidad elimina la presión de la cadena de suministro al tiempo que mantiene al cliente satisfecho.

Los proveedores de servicios también aprovechan la personalización en masa para reducir el nivel de inventarios. British Airways está intentando personalizar el servicio a clientes una vez que abordaron. Cuenta con un sistema de software que rastrea las preferencias de sus clientes más favorecidos, hasta las revistas que leen. Esta información permite a la línea planear con más exactitud qué llevar en cada vuelo. Esta información ahorra a la línea una cantidad significativa de dinero porque no tiene que llevar entretenimiento que los pasajeros no quieren.

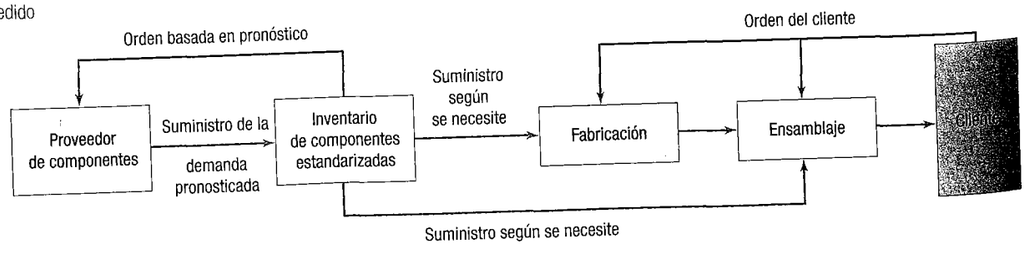
- *Incremento en el valor percibido de servicios o productos.* Con la personalización en masa, los clientes pueden tener lo que les gusta. En general, la personalización en masa suele tener un valor más alto en la mente del cliente de lo que en realidad costó producirlo. Esta percepción permite a las empresas cobrar precios que proporcionan un margen mejor.

Diseño de la cadena de suministro para personalización masiva

¿Cómo afecta la personalización masiva el diseño de la cadena de suministro? Analizamos tres consideraciones importantes.

Estrategia de ensamble por pedido El proceso de diseño fundamental es una estrategia de ensamblaje por pedido. Esta estrategia incluye dos etapas para proveer el servicio o producto. Al inicio, se producen o compran las componentes estándar y se mantienen en inventario. Esta etapa es importante porque permite a la empresa producir o comprar estos artículos estándar en grandes volúmenes para mantener los costos bajos. En la segunda etapa, la empresa ensambla estas componentes estándar para una orden específica de un cliente. En la personalización masiva, esta etapa debe ser flexible para manejar un gran número de combinaciones potenciales y ser capaz de producir la orden con rapidez y precisión. Por ejemplo, My Twinn personaliza muñecas; los clientes pueden elegir entre más de 325,000 combinaciones diferentes de muñecas. Para asegurar

FIGURA 10.7 ▼
Diseño de la cadena de suministro para la estrategia de ensamble por pedido



la precisión, la página de Internet toma la orden con las especificaciones requeridas y permite al cliente ver la muñeca conforme va escogiendo diferentes opciones. La figura 10.7 muestra que la orden del cliente se transmite a las operaciones de fabricación y ensamblaje y que las componentes estandarizadas compradas se llevan al punto de fabricación o ensamble cuando se necesiten para el pedido. Observe que no hay inventario de bienes terminados.

Diseño modular El servicio o producto debe tener un diseño modular que permita la "personalización" que el cliente desea. Este enfoque requiere una atención cuidadosa en los diseños de los servicios o productos que se pueden ensamblar a partir de un conjunto estándar de módulos, de modo económico y rápido en respuesta a la orden del cliente.

Aplazamiento (*postponement*) Por último, la personalización masiva exitosa pospone la tarea de diferenciar un servicio o producto para un cliente específico hasta el último momento posible. El *aplazamiento* es un concepto mediante el cual algunas de las últimas actividades en la provisión de un servicio o producto se retrasan hasta que se reciben las órdenes. Hacer esto permite la mayor aplicación de los módulos estándar antes de hacer una personalización dada. Algunas veces la personalización definitiva ocurre en el último paso.

La estrategia de ensamble por pedido y el aplazamiento se pueden extender a las cadenas de suministro. Los costos de inventarios y el transporte muchas veces determinan el grado en el que un fabricante utiliza el aplazamiento en la cadena de suministro. Con el aplazamiento, los fabricantes evitan la acumulación de inventario. Algunas empresas aprovechan un proceso llamado **ensamble en canal**, donde los miembros de un canal de distribución actúan como si fueran estaciones de ensamblaje en la fábrica. Los centros de distribución o los almacenes pueden realizar la personalización en el último minuto una vez que llegan las órdenes. Ese era el caso de Nikon en la apertura del capítulo. UPS agrega baterías y cargadores o reempaca las cámaras digitales según las especificaciones de la tienda antes de entregar las órdenes. El ensamble en canal es particularmente útil cuando la personalización requerida tiene una justificación geográfica, como diferencias de lenguaje o requerimientos técnicos. En general, además de las ventajas del inventario, la ventaja del aplazamiento en el canal de distribución es que las plantas de la empresa pueden enfocarse en los aspectos estándar del producto, mientras que el distribuidor puede enfocarse en la personalización de un producto que puede requerir componentes adicionales a los proveedores locales.

ensamble en canal
Proceso de utilizar a los miembros de un canal de distribución como si fueran estaciones de ensamblaje en la fábrica.

Procesos subcontratados

Todos los negocios compran, por lo menos, la entrada a sus procesos (como servicios profesionales, materias primas o partes fabricadas) a otros fabricantes. Muchos negocios también compran servicios para llevar sus productos a sus clientes. De los procesos necesarios para ofrecer esos productos y servicios comprados, ¿cuántos es preferible que una empresa posea y opere? La respuesta a esta pregunta determina el grado de integración vertical de la empresa. Cuantos más procesos hay en la cadena de suministro que la organización opera, más verticalmente integrada estará. Si no realiza algunos procesos por sí misma, debe apoyarse en la **subcontratación** o pagar a los proveedores y distribuidores para que los ejecuten y proporcionen los servicios y materiales necesarios. Cuando un administrador opta por una integración más vertical, por definición ocurre menos subcontratación. Estas decisiones algunas veces se llaman **decisiones de hacer o comprar**, donde una decisión de *hacer* significa una integración más vertical y una decisión de *comprar* significa más subcontratación. Después de decidir qué subcontratar y qué hacer, el administrador debe encontrar formas de coordinar e integrar los diferentes procesos y proveedores involucrados. El ejemplo 10.2 muestra que el análisis de punto de equilibrio, que se puede encontrar en el suplemento A, "Toma de decisiones", puede utilizarse para la decisión de hacer o comprar.

subcontratación
Pagar a los proveedores o distribuidores para realizar procesos y proporcionar los servicios y materiales necesarios.

decisión de hacer o comprar
Elección de los administradores entre subcontratar un proceso o hacerlo en casa.

EJEMPLO 10.2 Uso del análisis de punto de equilibrio para la decisión de subcontratación

La fábrica Thompson produce básculas industriales para la industria de electrónicos. La administración está considerando subcontratar la operación de envío con un proveedor de logística experimentado en esta industria. Los costos fijos anuales de envío de Thompson son $1,500,000, que incluyen los costos del equipo y la infraestructura para la operación. El costo variable estimado de enviar básculas con la operación propia es $4.50 por tonelada-milla. Si Thompson subcontrata la operación con Carter Trucking, el costo fijo anual de la infraestructura y tiempo de administración necesario para manejar el contacto será $250,000. Carter le cobraría $8.50 por tonelada-milla. ¿Cuál es el punto de equilibrio?

MyOMLab
El modelo activo A.2 en MyOMLab proporciona información adicional de las decisiones de hacer o comprar, y sus extensiones.

SOLUCIÓN
Del suplemento A, "Toma de decisiones", la fórmula para el punto de equilibrio da

$$Q = \frac{F_m - F_b}{C_b - C_m}$$

$$= \frac{1{,}500{,}000 - 250{,}000}{8.50 - 4.50} = 312{,}500 \text{ toneladas-milla}$$

MyOMLab
El tutor A.2 en MyOMLab proporciona un nuevo ejemplo para practicar el análisis de punto de equilibrio en las decisiones de hacer o comprar.

PUNTO DE DECISIÓN
Ahora la administración de Thompson debe evaluar cuántas toneladas-milla de producto es probable que se envíen ahora y en el futuro. Si esa estimación es menor que 312,500 toneladas-milla, la mejor opción es subcontratar la operación con Carter Trucking.

Integración vertical

integración hacia atrás
Movimiento de una empresa hacia atrás a las fuentes de materia prima, partes y servicios a través de adquisiciones.

integración hacia adelante
Adquirir más canales de distribución, como centros de distribución (almacenes) y tiendas o incluso clientes de negocios.

La integración vertical puede ser en dos direcciones. La **integración hacia atrás** representa el movimiento de una empresa en la cadena de suministro hacia las fuentes de materias primas, partes y servicios mediante adquisiciones, como una cadena de supermercados importante que tiene sus propias plantas para producir marcas de helado, masa congelada para pizza y crema de cacahuate. La integración hacia atrás tiene el efecto de reducir el riesgo del suministro. La **integración hacia adelante** significa que la empresa adquiere más canales de distribución, como centros de distribución (almacenes) y tiendas. También puede significar que la empresa va todavía más lejos y compra a sus clientes para su negocio. Una empresa elige la integración vertical cuando tiene las habilidades, el volumen y los recursos para lograr una mejor prioridad competitiva que los externos. Hacer el trabajo dentro de su estructura organizacional puede significar mejor calidad y más entregas a tiempo, al igual que aprovechar recursos humanos, equipo y espacio de la empresa. La integración vertical extensa en general es atractiva cuando los volúmenes de entrada son altos porque permiten la especialización de tareas y mayor eficiencia. También es atractiva si la empresa tiene las habilidades relevantes y ve los procesos que está integrando como particularmente importantes para su éxito futuro. Sin embargo, debe tenerse cuidado de que la integración vertical excesiva no lleve a una pérdida de concentración para la empresa en cuanto a entregar valor agregado en su negocio central.

La administración debe identificar, cultivar y explotar sus competencias centrales para prevalecer en el mercado mundial. Recuerde que las competencias centrales reflejan el aprendizaje colectivo de la organización, en especial su habilidad para coordinar diversos procesos e integrar múltiples tecnologías. Definen a la compañía y le proporcionan su razón de existir. La administración debe estar siempre atenta al fortalecimiento de sus competencias centrales, quizá viendo hacia atrás a sus proveedores y hacia adelante a sus clientes y adquiriendo aquellos procesos que apoyen sus competencias centrales, que permiten a la compañía organizar el trabajo y entregar valor de mejor manera que sus competidores. Hacerlo de otra manera representa el riesgo de que la empresa pierda el control de las áreas cruciales de su negocio.

Subcontratación

A pesar de los argumentos en favor de mayor integración vertical, algunas empresas subcontratan procesos importantes como contabilidad, marketing o fabricación. Muchas compañías subcontratan nómina, seguridad, limpieza y otros tipos de servicios, en lugar de emplear personal que proporcione esos servicios. La subcontratación es una opción particularmente atractiva para empresas que tienen volúmenes bajos. ¿Qué lleva a una empresa a subcontratar en lugar de integrar verticalmente? Una empresa que subcontrata se da cuenta de que otra empresa puede realizar el proceso subcontratado con más eficiencia y mejor calidad que ella. Optan por agregar proveedores externos a sus cadenas de suministro en lugar de conservar a los proveedores internos. Sin embargo, la decisión de subcontratar es un asunto serio porque la empresa puede perder las habilidades y el conocimiento necesarios para conducir los procesos. Todo el aprendizaje acerca de los avances de procesos se deja al subcontratado, lo que dificulta traer alguna vez el proceso de regreso a la empresa.

deslocalización
Estrategia de la cadena de suministro que implica mover procesos a otro país.

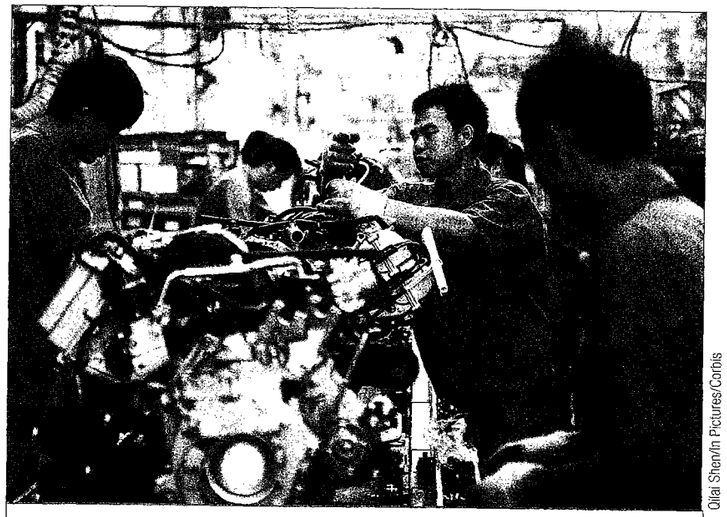
La estrategia de globalizar una empresa agrega una nueva dimensión al desarrollo de las cadenas de suministro y utiliza subcontratación. La **deslocalización** es una estrategia de la cadena de suministro que involucra mover procesos a otro país. Así, la deslocalización abarca más que la subcontratación porque también incluye la integración al ubicar procesos internos en otros países. Las compañías tienen la motivación para iniciar operaciones en otro país por el potencial del mercado y las ventajas de costo que proporciona. La empresa puede crear nuevos mercados debido a su presencia en otras naciones y a su habilidad para ofrecer precios competitivos por sus eficiencias en costos. Las prioridades competitivas diferentes a costos bajos, como entrega rápida a clientes distantes, también pueden impulsar la decisión.

Factores de decisión La decisión de subcontratación o deslocalización de un proceso es compleja e involucra numerosos factores.

- *Costos de mano de obra comparativos.* Algunos países como China e India, por tradición, conservan un enorme margen en lo que se refiere a costos de mano de obra. En India, el salario para un programador de computadoras es mucho menor que el de un programador en Estados Unidos con habilidades comparables. En China, el salario mensual promedio es mucho menor que el de Japón. Sin embargo, la ventaja de hacer negocio en estos y otros países de salario bajo se está erosionando conforme los salarios se elevan debido al incremento de demandas. En algunos casos, la ventaja mano de obra-costo puede solo serlo en el corto plazo por las condiciones de la economía local, como estructuras de salarios más bajo en Estados Unidos debido a la recesión de 2008.
- *Retrabajo y devolución de productos.* Mientras que las tasas de salarios pueden ser bajas en algún lugar en particular, la calidad del trabajo también debe considerarse. El retrabajo interno cuesta y el costo de la devolución de productos puede compensar la ventaja de las tasas de salarios.
- *Costos de logística.* Aun cuando los costos de mano de obra no sean tan favorables, puede ser todavía menos costosa la subcontratación o la deslocalización de los procesos de ensamblaje final a otros países para reducir los costos de logística de la entrega de productos a clientes internacionales. Mover los procesos más cerca de los clientes y utilizar proveedores del área reduce el costo de transporte del producto final a su último destino. Utilizar transporte en barco o avión puede ser costoso por su dependencia del petróleo. Los ahorros en los costos de logística pueden compensar los costos de mano de obra más altos en esos países.
- *Aranceles e impuestos.* Algunos países ofrecen incentivos de impuestos a empresas que hacen negocio dentro de sus fronteras. Los aranceles también pueden ser un tropiezo para empresas que quieren hacer negocios en un país. Algunas veces son tan altos que la empresa decide ensamblar los productos en ese país en lugar de exportarlos hacia allá.
- *Efectos del mercado.* No debe pasarse por alto la ventaja potencial de la deslocalización de un proceso en un lugar en el que la presencia de la empresa puede tener un efecto positivo en las ventas locales.
- *Ley del trabajo y sindicatos.* Algunos países tienen menos sindicatos y restricciones en el uso flexible de la mano de obra. La habilidad para usar a los trabajadores en varias tareas diferentes sin restricciones puede ser importante para las empresas que quieren lograr flexibilidad en sus operaciones y reducir costos. De cualquier modo, las empresas deben conocer las leyes del trabajo locales y las aduanas, y luchar por lograr un nivel alto de comportamiento ético cuando se hacen negocios en otros países.
- *Internet.* Este reduce los costos de la transacción de administrar socios y operaciones distantes.

Dificultades potenciales Aunque la subcontratación puede parecer que ofrece grandes ventajas, también tiene algunos escollos que deben explorarse con cuidado antes de usar esta estrategia.

- *Desconectar demasiado pronto.* Un error importante es subcontratar un proceso antes de hacer un esfuerzo de buena fe por arreglar el existente. Analizamos muchas maneras de mejorar los procesos en las partes 1 y 2 de este libro; estos métodos deben investigarse primero. La subcontratación no siempre es la respuesta, incluso cuando los salarios locales excedan por mucho a los de otros países. Asegúrese de que realmente necesita subcontratar para lograr su estrategia de operaciones.
- *Transferencia tecnológica.* Con frecuencia, una subcontratación incluye crear una *empresa conjunta* con una compañía en otro país. Con una empresa conjunta, dos compañías acuerdan producir conjuntamente un servicio o producto. Entonces, suele tener lugar una transferencia de tecnología para dar velocidad a una parte respecto al servicio o producto. El peligro es que la empresa con la ventaja tecnológica en esencia está preparando a la otra para convertirse en un futuro competidor.
- *Integración de proceso.* Pese al poder de Internet, es difícil integrar por completo los procesos subcontratados con los otros procesos de la empresa. Tiempo, distancia y comunicación pueden ser unos obstáculos formidables, en especial si el proveedor está al otro lado del mundo. Administrar los procesos en el extranjero no será lo mismo que administrar a los que se encuentran en la siguiente puerta. Muchas veces debe dedicarse una cantidad considerable de tiempo administrativo para coordinar los procesos fuera del país. La práctica administrativa 10.1 revela que la subcontratación en una escala global puede ser un reto para la administración.



Qilai Shen/In Pictures/Corbis

Empleados trabajan en la línea de ensamblaje del motor de la minivan Wuling en la fábrica de SAIC GM Wuling Automobile Co., Ltd. en Liuzhou, Guangxi, China. SAIC obtuvo una licencia para usar el conocimiento técnico de GM para el diseño y fabricación de automóviles.

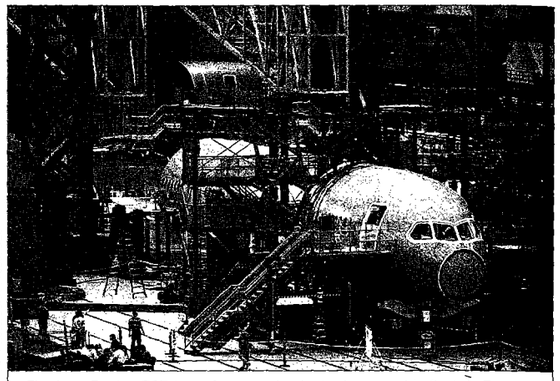
PRÁCTICA ADMINISTRATIVA 10.1 Construcción de una cadena de suministro para Dreamliner

Suponga que tiene la oportunidad de diseñar por completo la cadena de suministro de la aerolínea más esperada de los tiempos modernos. El avión, el Boeing 787 Dreamliner, es un avión comercial super eficiente que puede llevar a 330 pasajeros en rutas hasta de 8,000 millas náuticas a velocidades de 850 millas por hora. Está construido con materiales compuestos de fibra de carbón, que son ligeros y no susceptibles a corrosión o fatiga como el aluminio. Este avión utiliza 50% de materiales compuestos; Boeing utiliza solo 10 a 12% en el 777. La meta de Boeing era llevar la máquina más compleja de la producción en masa al mercado en solo un poco más de cuatro años, o dos años menos, que otros proyectos. Boeing tenía dos opciones para el diseño de la cadena de suministro: **1.** producir cerca de 50% del avión en sus instalaciones, incluyendo alas y fuselaje como en los aviones Boeing existentes y correr el riesgo de que los tiempos de entrega de producción sufrieran debido a las restricciones de capacidad o **2.** subcontratar cerca de 85% del avión, en esencia construir solo la aleta estabilizadora vertical y administrar a los proveedores globales responsables del diseño y la producción de componentes principales. Boeing seleccionó la opción dos.

Existen varias razones de peso para esta decisión. Primero, un número de grandes clientes del 787, como India y Japón, requieren que partes significativas del equipo se fabriquen en sus países. Utilizar a los contratistas principales de esos países satisface el requerimiento. Segundo, una escasez de talento ingenieril de alta calidad también puso presión sobre la subcontratación. Tercero, la complejidad total del avión hacía necesario compartir la carga. Boeing, aun con todos sus recursos, no podía construir todas las componentes y piezas en una instalación o región. Por último, el trabajo en el avión puede proceder de manera simultánea y no secuencial, ahorrando tiempo y dinero. Por ejemplo, el diseño modular del avión permite a Boeing utilizar herramienta flexible para mover aviones por la fábrica con más rapidez. Los proveedores diseñan y entregan los subsistemas con base en el modelo justo a tiempo, que "encajan" para unirlos por un pequeño número de trabajadores de la fábrica en cuestión de días y no de meses, el tiempo típico para un avión con esa complejidad.

Boeing eligió diseñar la cadena de suministro con 43 niveles de proveedores en tres continentes. La subcontratación con tanta responsabilidad requiere mucha atención administrativa; hay que saber qué pasa en cada fábrica todo el tiempo. Como se esperaba con algo tan complejo, grandes problemas técnicos surgieron como duendes. Al primer Dreamliner que llegó a la fábrica de Boeing le faltaban miles de partes. Los problemas con proveedores iban desde barreras de lenguaje hasta problemas ocasionados por algunos contratistas que subcontrataron porciones importantes de su trabajo asignado y luego experimentaron problemas con sus proveedores. La primera sección de fuselaje, el gran barril cilíndrico de muchas partes que abarca el área de asientos de pasajeros falló en las pruebas de la compañía y Boeing tuvo que hacer más secciones de lo planeado para reexaminar la calidad y los aspectos de seguridad. Los programas de software diseñados por una variedad de fabricantes tuvieron problemas para comunicarse entre sí y el peso total del avión era demasiado elevado, en especial el ala de fibra de carbón. Estos y muchos otros problemas técnicos ocasionaron grandes retrasos en las entregas prometidas de los primeros 787. La fecha de entrada en servicio del 787 se estableció luego a finales de 2011 o incluso 2012, más de tres años fuera de lo planeado.

¿La ventaja de colaboración en esa gran escala compensa la pérdida de control en el diseño y la logística? El jurado aún delibera; sin embargo, los clientes de Boeing no están contentos con los retrasos. De cualquier manera, Boeing tiene más de 843 órdenes para el Dreamliner.



AP Photo/John Froschauer

El primer Boeing 787 toma forma en la planta de ensamble final de Everett, Washington. El nuevo avión comercial es ensamblado con componentes importantes producidas en todo el mundo.

Fuente: Elizabeth Rennie, "Beyond Borders", *APICS Magazine* (marzo, 2007), pp. 34-38; Stanley Holmes, "The 787 Encounters Turbulence", *Business Week* (19 de junio, 2006), pp. 38-40; J. Lynn Lunsford, "Boeing Scrambles to Repair Problems With New Plane", *The Wall Street Journal* (7 de diciembre, 2007), p. A1. "Boeing 787 Dreamliner", **http://en.wikipedia.org/wiki/Boeing_787_Dreamliner**

Implicaciones estratégicas

Una cadena de suministro es, por supuesto, una red de empresas, donde cada empresa en la cadena debería diseñar su propia cadena de suministro para apoyar las prioridades competitivas de sus servicios o productos. Aun cuando vastas tecnologías como la de Internet, diseño asistido por computadora, fabricación flexible y almacenamiento automatizado se han aplicado a todas las etapas de la cadena de suministro, el desempeño de muchas de ellas sigue siendo fatal. Un estudio de la industria alimentaria en Estados Unidos estimó que la mala coordinación entre los miembros de la cadena de suministro desperdicia cerca de $30 mil millones al año. Una causa posible de las fallas es que los administradores no entienden la naturaleza de la demanda de sus servicios o productos y, por tanto, no pueden diseñar cadenas de suministro que satisfagan esas demandas. Dos diseños distintos utilizados con ventajas competitivas son las *cadenas de suministro eficientes* y las *cadenas de suministro sensibles*. La tabla 10.1 muestra el entorno que mejor se ajusta a cada diseño.

Cadenas de suministro eficientes

La naturaleza de la demanda de los servicios o productos de una empresa es un factor clave al seleccionar la mejor estrategia de la cadena de suministro. Las cadenas eficientes trabajan mejor en ambientes donde la demanda se puede predecir, como la demanda de artículos básicos comprados en los supermercados o la demanda de un servicio de mensajería.

TABLA 10.1 | ENTORNOS MÁS ADECUADOS PARA CADENAS DE SUMINISTRO EFICIENTES Y SENSIBLES

Factor	Cadenas eficientes de proveedores	Cadenas sensibles de proveedores
Demanda	Predecible, pocos errores de pronósticos	Impredecible, altos errores de pronóstico
Prioridades competitivas	Bajo costo, calidad constante, entrega a tiempo	Velocidad de desarrollo, entrega rápida, personalización, flexibilidad de volumen, variedad, calidad superior
Introducción de nuevo servicio/ producto	Poco frecuentes	Frecuente
Margen de contribución	Bajo	Alto
Variedad de productos	Baja	Alta

Diseños comunes Existe un diseño popular para las cadenas eficientes de proveedores.

- *Producir para inventario* (PPI): el producto se construye según un pronóstico de ventas y se vende al cliente desde un inventario de bienes terminados. El cliente final no tiene entradas individuales en la configuración del producto y en general compra el producto en una tienda. Los ejemplos incluyen abarrotes, libros, electrodomésticos y artículos para el hogar.

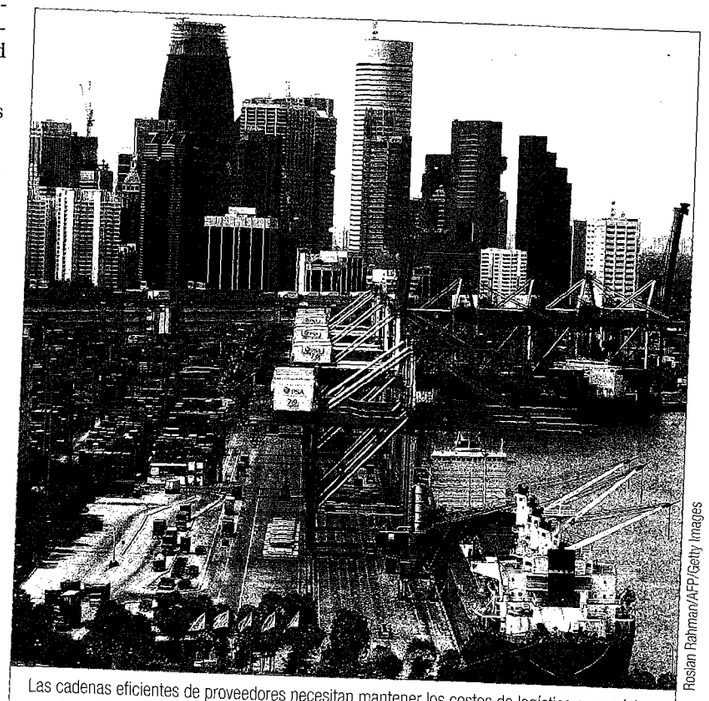
El enfoque de la cadena de suministro PPI es eficiencia en los flujos de servicio, materiales, dinero e información y mantener los inventarios al mínimo. Debido a los mercados que atienden a estas empresas, los diseños de servicio o producto duran mucho tiempo, los lanzamientos de nuevos productos son poco frecuentes y la variedad es pequeña. Estas empresas suelen producir para mercados en los que el precio es crucial para atraer órdenes. Los márgenes de contribución son bajos y la eficiencia es importante. En consecuencia, las cadenas eficientes tienen prioridades competitivas de operaciones de bajo costo, calidad congruente y entrega a tiempo.

Cadenas sensibles de proveedores

Las cadenas sensibles de proveedores están diseñadas para reaccionar rápido con el fin de protegerse contra las incertidumbres de la demanda. Funcionan mejor cuando las empresas ofrecen una variedad amplia de servicios o productos y la posibilidad de predecir la demanda es baja.

Diseños comunes Existen tres diseños populares para las cadenas sensibles de proveedores.

- *Ensamble sobre pedido*: el producto se construye según especificaciones de los clientes. Los clientes pueden elegir entre varios componentes estándar para llegar a sus propios productos; sin embargo, no tienen control sobre el diseño de los componentes. El ensamble se retrasa hasta que se recibe la orden. Este es el diseño que se utiliza para la personalización masiva descrito en la figura 10.7. Los ejemplos incluyen el enfoque de Dell para personalizar computadoras de escritorio y portátiles que ofrece una selección de opciones con cada modelo.
- *Fabricar sobre pedido*: el producto se basa en un diseño estándar; sin embargo, la producción de componentes y la manufactura del producto final están ligadas a las especificaciones del cliente. Los ejemplos incluyen la ropa hecha a la medida, como la que ofrecen Land's End y Tommy Hilfiger, casas prediseñadas y aviones comerciales, como el caso de Boeing descrito en la práctica administrativa 10.1.
- *Diseño sobre pedido*: el producto se diseña y construye por completo según las especificaciones de los clientes. Esta cadena de suministro



Roslan Rahman/AFP/Getty Images

Las cadenas eficientes de proveedores necesitan mantener los costos de logística a un mínimo. En la foto, los barcos cargados con contenedores atracan en el Puerto Keppel de Singapur, uno de los puertos marítimos más eficientes y ajetreados.

permite a los clientes diseñar el producto para que se ajuste a sus necesidades específicas. Los ejemplos incluyen grandes proyectos de construcción, vestidos de diseñador para damas, trajes de caballero de hechura especial y la construcción arquitectónica original de casas.

Para ser competitivas, las empresas en una cadena sensible de proveedores con frecuencia introducen nuevos servicios o productos. De cualquier manera, debido a lo innovador de sus servicios o productos, disfrutan altos márgenes de contribución. Las prioridades competitivas típicas para estas cadenas son velocidad de desarrollo, entrega rápida, personalización, variedad, flexibilidad de volumen y calidad superior. Las empresas quizá ni siquiera sepan qué servicios o productos deben proporcionar, sino hasta que el cliente coloca una orden. Además, la demanda puede tener una vida corta, como en el caso de bienes de moda. El enfoque de las cadenas sensibles es tiempo de reacción o respuesta, que ayuda a evitar costosos inventarios que al final deben venderse con grandes descuentos.

Una empresa puede verse en la necesidad de utilizar ambos tipos de cadenas de suministro, en especial cuando enfoca sus operaciones en segmentos específicos de mercado o puede segmentar la cadena de suministro para atender dos requerimientos diferentes. Por ejemplo, la cadena de suministro para un producto estándar, como un barco petrolero, tiene requerimientos diferentes que la de un producto personalizado, como un yate de lujo, aun cuando ambos sean embarcaciones marinas y los dos hayan sido fabricados por la misma compañía. También puede observar elementos de eficiencia y sensibilidad en la misma cadena de suministro. Por ejemplo, Gillette utiliza una cadena eficiente para fabricar sus productos de manera que pueda utilizar un proceso de manufactura intensivo en capital, y luego utilizar una cadena sensible para sus procesos de empaque y entrega para dar respuesta rápida de las tiendas. La operación de empaque implica personalización en la forma de imprimir diferentes idiomas. Igual que los procesos se pueden desglosar en partes, con diferentes estructuras de proceso para cada una, los procesos de la cadena de suministro pueden segmentarse para lograr un desempeño óptimo.

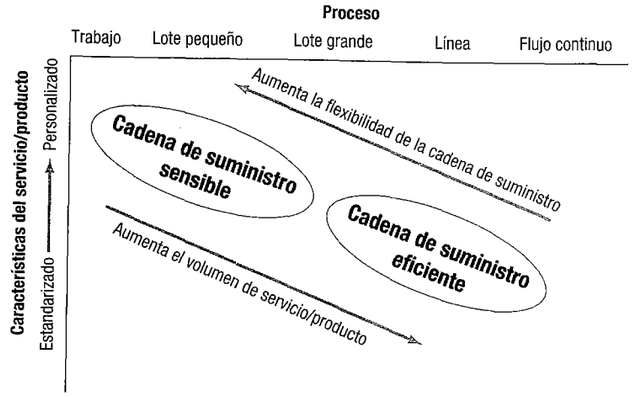
Diseño de cadenas eficientes y sensibles de proveedores

La tabla 10.2 contiene las características de diseño básicas para cadenas eficientes y sensibles de proveedores. Cuanto más adelante en la cadena esté una empresa, más probable será que tenga una estrategia de flujo en línea que apoye altos volúmenes de servicios o productos estandarizados. En consecuencia, los proveedores en cadenas eficientes de suministros tienen amortiguadores de capacidad bajos, debido a que su alta utilización mantiene el costo por unidad bajo. Una alta rotación de inventarios es deseable porque la inversión en inventario debe mantenerse baja para lograr costos bajos. Las empresas deben trabajar con sus proveedores para acortar tiempos de entrega, pero deben tener cuidado de usar tácticas que no aumenten los costos de manera apreciable. Por ejemplo, los tiempos de entrega para el proveedor pueden acortarse cambiando el transporte de ferrocarril a avión; sin embargo, el costo agregado puede contrarrestar los ahorros obtenidos de los tiempos de entrega más cortos. Los proveedores deben seleccionarse con énfasis en los precios bajos, calidad consistente y entrega a tiempo. Al tener amortiguadores de capacidad pequeños, las interrupciones en una cadena de suministro eficiente pueden ser costosas y deben evitarse. La figura 10.8 muestra que es más probable que la empresa con lotes grandes y procesos en línea o continuos sea parte de una cadena de suministro eficiente.

Por el contrario, una empresa en una cadena sensible (o de respuesta rápida) de proveedores debe ser flexible y tener amortiguadores de capacidad altos. Los inventarios WIP deben posicionarse en la cadena para apoyar la entrega rápida, pero los inventarios de bienes terminados costosos deben evitarse. Las empresas deben trabajar fuerte con sus proveedores para acortar tiempos de entrega porque les permite esperar más antes de comprometerse con una orden de un cliente; en otras palabras, les da mayor flexibilidad. Las empresas deben seleccionar a sus proveedores para que apoyen las prioridades competitivas de los servicios o productos proporcionados, que en este caso incluyen la habilidad para hacer entregas rápidas, personalizar servicios o componentes, ajustar volúmenes con rapidez para igualar los ciclos de demanda, la variedad en la oferta y proporcionar una calidad superior. La figura 10.8 muestra que es más probable que la empresa con lotes pequeños o por trabajo sea parte de una cadena de suministro sensible.

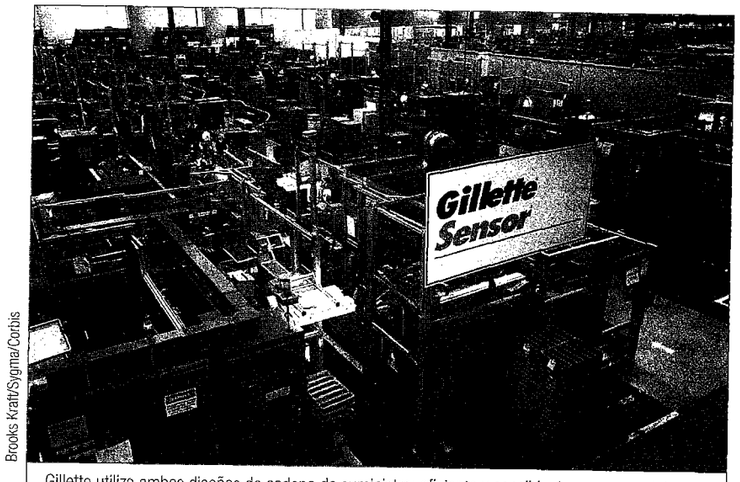
TABLA 10.2 | CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO PARA CADENAS DE SUMINISTRO EFICIENTES Y SENSIBLES

Factor	Cadenas eficientes de proveedores	Cadenas sensibles de proveedores
Estrategia de operaciones	Fabricar para inventario servicios o productos estandarizados; énfasis en altos volúmenes	Ensamblar, fabricar o diseñar sobre pedido servicios o productos personalizados; énfasis en la variedad
Amortiguador de capacidad	Bajo	Alto
Inversión en inventario	Baja; permite una alta rotación de inventarios	Como sea necesario para asegurar un tiempo de entrega rápido
Tiempo de entrega	Acortado, pero no aumentando costos	Acortar de manera drástica
Selección del proveedor	Énfasis en precios bajos, calidad consistente, entrega a tiempo	Énfasis en el tiempo de entrega rápido, personalización, variedad, flexibilidad de volumen, calidad superior



◀ **FIGURA 10.8**
Vínculo del diseño de la cadena de suministro con los procesos y las características del servicio/producto

El mal desempeño de la cadena de suministro con frecuencia es el resultado de utilizar la cadena equivocada para los servicios o productos proporcionados. Un error común es usar una cadena eficiente en un entorno que necesita una cadena sensible a los cambios. Con el tiempo, una empresa puede agregar opciones a su servicio o producto básico, o introducir variaciones, de manera que la variedad de su oferta aumenta notoriamente y la posibilidad de predecir la demanda para un servicio o producto dado disminuye. Aún así, la empresa continúa midiendo el desempeño de su cadena de suministro como lo ha hecho siempre, resaltando la eficiencia, incluso cuando los márgenes de contribución permitirían un diseño de cadena sensible de proveedores. Es evidente que alinear las operaciones de la cadena de suministro con las prioridades competitivas de la empresa tiene sus implicaciones estratégicas.



Brooks Kraft/Sygma/Corbis

Gillette utiliza ambos diseños de cadena de suministro: eficiente y sensible. Los procesos intensivos en capital en su fábrica de Boston apoyan una cadena eficiente para mantener los costos bajos. Gillette utiliza una cadena sensible para los servicios de empaque y entrega a sus clientes que los venden.

REPASO DE LAS METAS DE APRENDIZAJE

1. **Explicar la importancia estratégica del diseño de la cadena de suministro.** Revise en las figuras 10.1 y 10.2 el panorama general del diseño de la cadena de suministro. La sección "Diseño de la cadena de suministro en toda la organización", pp. 361-362, revela las presiones funcionales internas que influyen en el diseño de la cadena de suministro.
2. **Identificar la naturaleza de las cadenas de suministro para quienes proporcionan servicios, lo mismo que para los fabricantes.** Véase ejemplos en la sección "Cadenas de suministro para servicios y manufactura", pp. 362-363, y las figuras 10.3 y 10.4.
3. **Definir las medidas de desempeño críticas de la cadena de suministro.** La sección "Medidas de desempeño de la cadena de suministro", pp. 363-367, analiza las importantes medidas de inventario y financieras. Asegúrese de comprender el ejemplo 10.1 y el problema resuelto.
4. **Explicar las estrategias de la personalización masiva y sus implicaciones para el diseño de la cadena de suministro.** La sección "Personalización masiva", pp. 367-369, describe las ventajas competitivas y las implicaciones para el diseño de la cadena de suministro.
5. **Definir los factores de decisión importantes que deben considerarse al emplear una estrategia de subcontratación (outsourcing).** La subcontratación y la localización en el extranjero se estudian con detalle en la sección "Procesos subcontratados", pp. 369-372. Asegúrese de revisar el ejemplo 10.2, que utiliza análisis de punto de equilibrio para las decisiones de hacer o comprar. La práctica administrativa 10.1 muestra la complejidad de la decisión de subcontratar.
6. **Explicar en qué difieren las cadenas de suministro eficientes y las cadenas de suministro de respuesta rápida y los entornos más adecuados para cada tipo de cadena.** Revise la sección "Implicaciones estratégicas", pp. 372-375. Asegúrese de comprender las tablas 10.1 y 10.2.

MyOMLab le ayuda a desarrollar habilidades analíticas y a evaluar su propio avance con múltiples problemas sobre análisis de punto de equilibrio y subcontratación.

Recursos de MyOMLab	Títulos	Vínculos con el libro
Videos	*Inventory and Textbooks* *Clif Bar: Supply Chain*	Implicaciones estratégicas Implicaciones estratégicas
Modelos activos	A.1 Análisis de punto de equilibrio A.2 Decisión de hacer o comprar	Procesos de subcontratación Procesos de subcontratación; ejemplo 10.2 (pp. 369-370)
Solvers de OM Explorer	Estimador de inventarios Análisis de medidas financieras	Medidas de desempeño de la cadena de suministro; ejemplo 10.1 (pp. 364-365); figura 10.5 (p. 365) Caso: Brunswick Distribution, Inc. (pp. 381-383)
Tutores de OM Explorer	A.1 Punto de equilibrio, Evaluación de productos y servicios A.2 Procesos de evaluación de punto de equilibrio 10.1 Cálculo de medidas de inventario F.4 CPN, TIR, Pago	Subcontratación de procesos Subcontratación de procesos; ejemplo 10.2 (pp. 369-370) Medidas de desempeño de la cadena de suministro; ejemplo 10.1 (pp. 364-365) Medidas de desempeño de la cadena de suministro; Caso: Brunswick Distribution, Inc. (pp. 381-383)
POM para Windows	Análisis de punto de equilibrio Análisis financiero	Subcontratación de procesos; ejemplo 10.2 (pp. 369-370) Medidas de desempeño de la cadena de suministro; Caso: Brunswick Distributors, Inc. (pp. 381-383)
Ejercicios de tutor	10.1 Cálculo de las medidas de inventarios en diferentes escenarios	Medidas de inventarios; ejemplo 10.1 (pp. 364-365)
Tours virtuales	10.1 Construcción Yamaha 10.2 Jagger Yarn	Implicaciones estratégicas Cadenas de suministro para servicios y manufactura; figuras 10.3 y 10.4 (p. 363)
Suplemento de MyOMLab	F. Análisis financiero	Medidas de desempeño de la cadena de suministro; Caso: Brunswick Distributors, Inc. (pp. 381-383)
Ejercicio en Internet	10.1 Walmart	Implicaciones estratégicas
Ecuaciones clave		
Biblioteca de imágenes		

Ecuaciones clave

1. Valor de inventario agregado promedio = inventario promedio de cada SKU multiplicado por su valor, sumados sobre todos los SKU disponibles.

2. $$\text{Semanas de suministro} = \frac{\text{valor del inventario agregado promedio}}{\text{ventas semanales (al costo)}}$$

3. $$\text{Rotación de inventario} = \frac{\text{ventas anuales (al costo)}}{\text{valor del inventario agregado promedio}}$$

4. Punto de equilibrio para hacer o comprar: $Q = \frac{F_m - F_b}{c_b - c_m}$

Términos clave

decisión de hacer o comprar 369
deslocalización 370
diseño de la cadena de suministro 361
ensamble en canal 369
integración hacia adelante 370
integración hacia atrás 370
inventario compartido (*inventory pooling*) 367
rotación del inventario 364
semanas de suministro 364
subcontratación 369
ubicación adelantada 367
ubicación centralizada 367
valor del inventario agregado promedio 364

Problema resuelto

El costo de los bienes vendidos el año pasado para una empresa fue $3,410,000 y la empresa opera 52 semanas al año. Esta mantiene siete artículos en inventario: tres materias primas, dos artículos de trabajo en proceso y dos bienes terminados. La siguiente tabla contiene el nivel de inventario promedio el año pasado para cada artículo y su valor.

a) ¿Cuál es el valor del inventario agregado promedio?
b) ¿Cuántas semanas de suministro mantienen la empresa?
c) ¿Cuál fue la rotación de inventario el año pasado?

Categoría	Número de parte	Nivel promedio	Valor unitario
Materias primas	1	15,000	$3.00
	2	2,500	5.00
	3	3,000	1.00
Trabajo en proceso	4	5,000	14.00
	5	4,000	18.00
Productos terminados	6	2,000	48.00
	7	1,000	62.00

SOLUCIÓN
a)

Número de parte	Nivel promedio		Valor unitario		Valor total
1	15,000	×	$3.00	=	$ 45,000
2	2,500	×	5.00	=	12,000
3	3,000	×	1.00	=	3,000
4	5,000	×	14.00	=	70,000
5	4,000	×	18.00	=	72,000
6	2,000	×	48.00	=	96,000
7	1,000	×	62.00	=	62,000
			Valor del inventario agregado promedio =		$360,500

b) Ventas semanales promedio al costo = 3,410,000/52 semanas = $65,577/semana

$$\text{Semanas de suministro} = \frac{\text{valor del inventario agregado promedio}}{\text{ventas semanales (al costo)}} = \frac{\$360,500}{\$65,577} = 5.5 \text{ semanas}$$

c) $$\text{Rotación del inventario} = \frac{\text{ventas anuales (al costo)}}{\text{valor del inventario agregado promedio}} = \frac{\$3,410,000}{\$360,500} = 9.5 \text{ vueltas}$$

Preguntas para análisis

1. Explique cómo puede una empresa reducir sus costos al tiempo que mejora el desempeño de su cadena de suministro.
2. La cadena de tiendas Walmart vende artículos estandarizados y disfruta una gran influencia de compras con sus proveedores, ninguno de los cuales le pertenece. La cadena de tiendas The Limited vende artículos de moda y es dueña de Mast Industries, que es responsable de producir muchos de los artículos que venden las tiendas The Limited. Esta se jacta de que puede ir del concepto de una nueva prenda a las repisas de la tienda en 1,000 horas. Compare y contraste las implicaciones del diseño de la cadena de suministro para estos dos sistemas de tiendas.
3. Canon, un fabricante japonés de equipo fotográfico, decidió no realizar la deslocalización y conservar la fabricación y el desarrollo de nuevos productos en Japón, que tiene costos de mano de obra relativamente altos. Por el contrario, GM, con oficina matriz en Estados Unidos, tiene una sociedad con Shanghai Auto Industry Corporation (SAIC) para producir vehículos en China. Dado nuestro análisis de subcontratación, deslocalización y diseño de la cadena de suministro, discuta cómo estas dos decisiones, aparentemente diferentes, pueden apoyar cada una de las estrategias de operaciones de la compañía.

Problemas

El OM Explorer y POM para Windows están disponibles para todos los estudiantes de la décima edición de este libro. Vaya a **www.pearsonhighered.com/krajewski** para bajar estos paquetes de computadora. Si compró MyOMLab, también tiene acceso al software de modelos activos y mucha ayuda para resolver los problemas siguientes. Verifique con su instructor la mejor manera de usar estos recursos. En muchos casos, el instructor le pedirá que comprenda cómo se hacen los cálculos a mano. Por lo menos, el software proporciona una verificación de sus cálculos. Cuando los cálculos son muy complejos y la meta es interpretar los resultados al tomar una decisión, el software sustituye por completo los cálculos manuales.

1. EBI Solar utiliza un proceso de alta tecnología para convertir obleas de silicón en pequeños paneles solares. Estos paneles eficientes y baratos se usan para encender dispositivos electrónicos portátiles de baja energía. El año pasado, EBI Solar dio 4.5 vueltas a su inventario y tuvo un costo de bienes vendidos de $2.5 millones. Suponga 52 semanas hábiles en el año.
   a) Exprese el inventario promedio del año en semanas de suministro.
   b) Después de varias iniciativas de mejora para su cadena de suministro, la inversión en el inventario bajó en todas las categorías. Aunque no se espera que el costo de los bienes vendidos de EBI cambie respecto al nivel del año anterior, el valor de las materias primas bajó a $100,500; trabajo en proceso a $25,800; y bienes terminados a $16,200. Suponga que trabajan 52 semanas al año. Exprese el nivel del inventario total actual en semanas de suministro y vueltas de inventario.
2. Buzzrite, un vendedor de ropa informal, terminó el año con ventas anuales (al costo) de $48 millones. Durante el año, el inventario de ropa dio seis vueltas. Para el siguiente año, Buzzrite planea aumentar 25% las ventas anuales (al costo).
   a) ¿Cuál es el incremento en el valor del inventario agregado promedio si Buzzrite mantiene la misma rotación del inventario durante el próximo año?
   b) ¿Qué cambio en las vueltas del inventario debe lograr Buzzrite si, mediante una administración mejorada, desea apoyar las ventas del próximo año sin aumentar el valor del inventario agregado promedio?
3. Jack Jones, el gerente de materiales en Precision Enterprises, comienza a buscar maneras de reducir los inventarios. Un reporte de contabilidad reciente muestra la siguiente inversión en inventario por categoría: materias primas, $3,129,500; trabajo en proceso, $6,237,000; bienes terminados, $2,686,500. El costo de este año de los bienes vendidos es alrededor de $32.5 millones. Suponga un año de 52 semanas hábiles, exprese el inventario total en:
   a) Semanas de suministros.
   b) Vueltas de inventario.
4. Una línea de productos tiene 10 vueltas por año y un volumen de ventas (al costo) de $985,000. ¿Cuánto inventario se mantiene en promedio?
5. Bawl Corporation suministra cojinetes de bola de aleación a los fabricantes de vehículos en Detroit. Debido a sus procesos de manufactura especializados, se necesita una cantidad considerable de trabajo en proceso y materia prima. Los niveles de inventario actuales son de $2,470,000 y $1,566,000, respectivamente. Además, el inventario de bienes terminados es de $1,200,000 y se esperan ventas (al costo) para el año actual de alrededor de $48 millones. Exprese el inventario total como:
   a) Semanas de suministro.
   b) Vueltas de inventario.
6. Los siguientes datos se recolectaron para una tienda:

Costo de bienes vendidos	$3,500,000
Ganancia bruta	$700,000
Costos de operación	$500,000
Ganancia de operación	$200,000
Inventario total	$1,200,000
Activos fijos	$750,000
Deuda a largo plazo	$300,000

Suponga 52 semanas hábiles por año, exprese el inventario total como:
   a) Semanas de suministro.
   b) Vueltas de inventario.

Problemas avanzados

Los problemas 8, 10, 11 y 12 requieren que ya se haya leído el suplemento A, "Toma de decisiones".

7. Sterling, Inc. opera 52 semanas al año y su costo de bienes vendidos el año pasado fue $6,500,000. La empresa mantiene ocho artículos en inventario: cuatro materias primas; dos trabajos en proceso y dos productos terminados. La tabla 10.3 muestra los niveles de inventario promedio para estos artículos, con sus valores unitarios.
   a) ¿Cuál es el valor del inventario agregado promedio?
   b) ¿Cuántas semanas de suministro tiene la compañía?
   c) ¿Cuál fue la rotación del inventario el año pasado?

TABLA 10.3 | ARTÍCULOS EN EL INVENTARIO DE STERLING

Categoría	Número de parte	Inventario promedio en unidades	Valor por unidad
Materias primas	RM-1	20,000	$1
	RM-2	5,000	5
	RM-3	3,000	6
	RM-4	1,000	8
Trabajo en proceso	WIP-1	6,000	10
	WIP-2	8,000	12
Productos terminados	FG-1	1,000	65
	FG-2	500	88

8. Un fabricante de automóviles global está considerando la fabricación de un solenoide utilizado en las transmisiones de sus SUV. La compañía estima que los costos fijos de fabricar la parte en su planta, que incluyen equipo, mantenimiento y administración, ascienden a $6 millones. Los costos variables de mano de obra y material son $5.00 por unidad. La compañía tiene una oferta de un subcontratista para producir la parte por $8.00 por unidad. No obstante, el subcontratista quiere que la compañía comparta los costos del equipo. La compañía estima que el costo total será de $4 millones, que incluyen la supervisión administrativa para el nuevo contrato de suministro.
   a) ¿Cuántos solenoides necesitaría la compañía por año para que la opción de hacerlos en su planta sea menos costosa?
   b) ¿Qué otros factores, además de los costos, debe considerar la compañía antes de revisar su cadena de suministro para sus SUV?
9. Dogs-R-Us y K-9, Inc. son dos tiendas de mascotas que cubren las necesidades de los dueños de perros en la gran área de Charleston. Existe una competencia sana entre estos dos establecimientos. Ambos operan 52 semanas al año y ambos venden artículos con aproximadamente el mismo valor monetario y tipo. La tabla 10.4 proporciona el costo de los bienes vendidos, el nivel de inventario promedio y el valor unitario de cada artículo vendido en estas dos tiendas.
   a) Compare las dos tiendas en términos del valor de inventario agregado promedio.
   b) Compare las dos tiendas en términos de las semanas de suministro.
   c) Compare las dos tiendas en términos de la rotación del inventario.
10. Black Bear Outfitters es un proveedor internacional de equipo de campamento para familias. En la actualidad, la compañía utiliza un proveedor de logística para los servicios de almacén y manejo de paquetes destinados a entrega por tierra. El contrato es de $9 millones de cargos fijos, que cubren los gastos generales del proveedor y los costos de almacén; los costos variables son $15 por paquete enviado. Recientemente, Black Bear encontró un almacén que pueden rentar a un costo de $16 millones por año, que incluyen costos de renta, mano de obra y supervisión administrativa. Más aún, la compañía encontró otro proveedor que entregaría los paquetes del almacén por $6.00 por paquete. Considerando solo los costos, ¿cuántos paquetes debe Black Bear enviar para hacer que la integración vertical en las operaciones del almacén sea un beneficio?
11. En las oficinas corporativas de BlueFin Bank, la administración discutía el potencial de subcontratar el procesamiento de las transacciones de tarjetas de crédito con DataEase, un proveedor internacional de servicios operacionales de bancos. Procesar las transacciones en BlueFin ha sido un elemento costoso en el estado de pérdidas y ganancias anual y la inversión continua en equipo para mantenerse al día ha mermado las reservas de capital. Con base en el estudio y las negociaciones iniciales, DataEase cobrará $0.02 más por transacción que el costo de BlueFin por transacción y DataEase querrá $12 millones por año para cubrir el equipo y los costos generales asociados con el contrato. BlueFin todavía tiene que desarrollar una estimación de sus costos generales y fijos asociados con el procesamiento de las transacciones. Los costos incluyen supervisión, apoyo administrativo, mantenimiento, depreciación de equipo y gastos generales. Si BlueFin debe procesar 20 millones de transacciones al año, ¿Qué tan altos pueden ser esos costos antes de que prefiera pagar a DataEase?
12. Un fabricante global de equipos de conmutación eléctrica (ESE) está considerando subcontratar la manufactura de un interruptor eléctrico utilizado en la fabricación de los tableros de conmutación. La compañía estima que el costo fijo anual de fabricar la parte en su planta, que incluye equipo, mantenimiento y administración, asciende a $8 millones. El costo variable de mano de obra y materiales es $11.00 por interruptor. La compañía tiene una oferta de un subcontratista importante para producir la parte en $16.00 por interruptor.

TABLA 10.4 | DATOS DE INVENTARIO PARA LAS TIENDAS DOGS-R-US Y K-9, INC.

	DOGS-R-US		K-9, INC.	
Costo de bienes vendidos	**$560,000.00**		**$640,000.00**	
Categoría	**Inventario promedio en unidades**	**Valor por unidad**	**Inventario promedio en unidades**	**Valor por unidad**
Camas	200	$55.00	140	$55.00
Huesos y galletas	1,200	$2.50	250	$2.50
Alimentadores para mascotas	50	$12.50	20	$12.50
Pulgas y garrapatas	350	$7.50	75	$7.50
Perreras	10	$65.00	2	$65.00
Corrales	10	$220.00	3	$220.00
Puertas para perro	5	$120.00	2	$120.00
Rampas para perro	5	$150.00	2	$150.00
Carriolas para mascotas	10	$40.00	2	$40.00
Suplementos para mascotas	1,400	$4.50	150	$4.50
Juguetes para perro	250	$2.20	100	$2.20

a) ¿Cuántos interruptores necesitaría la compañía de equipos de conmutación por año para que la opción de hacerlo en su planta sea la menos costosa?

b) Suponga que el subcontratista quiere que la compañía comparta los costos del equipo. La compañía ESE estima que el costo total anual sería $5 millones, que incluyen supervisión administrativa para la nueva cadena de suministro. Para esta concesión el subcontratista bajará el precio por unidad a $12.00. Con esta suposición, ¿cuántos interruptores necesitaría ESE por año para que hacerlo en su planta sea la opción de menor costo?

c) Si el fabricante ESE está esperando utilizar 1,500,000 interruptores por año, ¿cuál opción (hacerlos en la planta o subcontratar compartiendo el costo de equipo, subcontratar sin compartir el costo del equipo) es la menos costosa?

APRENDIZAJE EXPERIENCIAL Distribuidores Sonic

Escenario

Sonic Distribuitors produce y vende CD de música en una sola instalación (fábrica), que sale a través de su centro de distribución y se vende al público en varias tiendas. La meta es operar la cadena de distribución al menor costo total.

Materiales (disponibles con el instructor)

Órdenes de compra para distribuidor y tienda
Formas de orden de trabajo para la fábrica
Formas de entrega de materiales de la fábrica y del distribuidor
Hojas de cálculo para la posición del inventario
Un medio para generar una demanda aleatoria (suele ser un dado)

Preparación

Cada equipo está en el negocio de fabricar CD de música y distribuirlos a las tiendas donde se venden. Dos o más personas tienen el papel de tiendas para compradores. Su tarea es determinar la demanda de los CD y ordenar reabastecimiento del inventario con el distribuidor. El distribuidor mantiene inventario de colocación adelantada obtenida de la fábrica. La fábrica produce en tamaños de lote según la orden del cliente o para inventario.

Tareas

Dividirse en equipos de cuatro.
Dos o tres personas operan las tiendas.
Una persona opera el centro de distribución.
Una persona programa la producción en la fábrica.

Cada día, conforme avanza el juego, los participantes en cada nivel de la cadena de suministro estiman la demanda, llenan las órdenes de los clientes, registran los niveles de inventario y deciden cuánto ordenar o producir y cuándo colocar una orden con su proveedor.

Costos y condiciones

A menos que su instructor indique lo contrario, los siguientes costos y condiciones se cumplen.

Costos

Costo de mantener por unidad por día	Tiendas: $1.00/CD/día
	Centros de distribución: $0.50/CD/día
	Fábrica: $0.25/CD/día
Costo de inventario en tránsito	Suponga que el costo del tránsito se puede ignorar para este ejercicio (considérelo cero)
Costo de ordenar (tiendas y distribuidores)	$20/orden
Costo de preparación en la fábrica (para la corrida de la orden)	$50 (Nota: el costo es por orden, no por día, aun cuando órdenes sucesivas de los distribuidores sean por el mismo artículo, la fábrica está ocupada fabricando otras cosas entre órdenes.)
Costo por faltantes (margen perdido)	Tienda: $8 por CD de venta perdida en un periodo
	$0 por órdenes atrasadas por faltantes de la fábrica y envío de nuevas órdenes
Costo de envío	Debido a que otros productos ya se envían a través de esta cadena y a que los CD son ligeros y ocupan poco espacio, considere que el costo es cero.

Condiciones

Inventario inicial	Las tiendas tienen 15 CD cada una
	El centro de distribución tiene 25 CD
	La fábrica tiene 100 CD
Restricciones de tamaño de lote	Las tiendas y los centros de distribución no tienen orden mínima. Puede guardarse cualquier cantidad. Para los tamaños de lote de producción en la fábrica y la capacidad, producir en lote mínimos de 20. La capacidad máxima es 200/día.
Órdenes pendientes	Ninguna

Retrasos

Retrasos en ordenar. Un día para enviar la orden desde una tienda a un distribuidor o desde un distribuidor a la fábrica (es decir, se pierde un día entre colocar la orden y que el receptor actúe sobre ella).

No ocurren retrasos al iniciar la producción una vez que se recibe una orden (pero se necesita un día para entregar una orden del distribuidor a la fábrica).

Retraso en la entrega. Tiempo de envío de un día entre el distribuidor y una tienda o entre la fábrica y el distribuidor (es decir, se pierde un día entre el envío de una orden y la recepción de la misma).

Corrida del ejercicio

Para simplificar, suponga que todas las transacciones tienen lugar al mismo tiempo a la mitad del día. Para cada día simulado, la secuencia del juego va como sigue:

Tiendas

a) Cada tienda recibe cualquier envío que se deba de su distribuidor (un día después del envío) y lo coloca en su inventario de ventas (agrega la cantidad indicada en la forma de material que entra del distribuidor —después de su retraso de un día— al nivel de inventario anterior al final del día en la hoja de cálculo de posición de inventario de la tienda). (*Nota:* en el primer día del ejercicio, no llegan órdenes).

b) Cada tienda determina su demanda del día (la cantidad de CD pedida) tirando un par de dados. La tirada determina el número de demanda.

c) Las tiendas satisfacen su demanda del inventario disponible, si es posible. La demanda se satisface restándola del nivel de inventario actual para obtener el nivel de inventario final, que se registra. Si la demanda excede el suministro, las ventas se pierden en la hoja de cálculos.

d) Las tiendas determinan si debe colocarse una orden. Si se requiere, la cantidad deseada de CD se escribe en una Orden de compra de tienda, que se envía al distribuidor (quien la recibe después de un retraso de *un día*). *Si se coloca una orden, debe registrarse en la hoja de cálculos.* Las tiendas también pueden mantener un registro de las órdenes pendientes por separado.

Distribuidor

a) El distribuidor recibe cualquier envío esperado de la fábrica y coloca los CD en el inventario disponible (suma la cantidad indicada en una forma de material recibido de la fábrica —después de su retraso de un día— al nivel de inventario del final del día anterior en la hoja de cálculo de la posición de inventario del distribuidor).

b) Todas las órdenes pendientes se satisfacen (la cantidad se resta del nivel de inventario actual indicado en la hoja de cálculos) y se preparan los envíos. Los CD se envían llenando la forma de entrega del material de centro de distribución, con la cantidad que se entrega.

c) El distribuidor utiliza las órdenes de compra recibidas de las tiendas (después del retraso designado de un día) para preparar los envíos del inventario disponible. Las cantidades enviadas se restan del nivel actual para obtener el nivel de inventario final, que se registra. Si el inventario disponible es insuficiente, se generan órdenes atrasadas.

d) El distribuidor determina si debe colocarse una orden de reabastecimiento. Si se requiere una orden, la cantidad de CD se escribe en una orden de compra del centro de distribución, que se turna a la fábrica (después del retraso de un día). Si se coloca la orden, debe registrarse en la hoja de cálculo. El distribuidor también puede mantener un registro de las órdenes pendientes por separado.

Fábrica

a) La fábrica coloca cualquier producción disponible en el inventario (suma los artículos producidos el día anterior al nivel de inventario final del día anterior en la hoja de cálculos de la posición de inventario de la fábrica).

b) Todas las órdenes pendientes se satisfacen (la cantidad se resta del inventario actual indicado en la hoja de cálculos) y se preparan los envíos. Los CD se envían llenando la cantidad de CD entregada en una forma de entrega de material de la fábrica.

c) La fábrica obtiene las *órdenes de compra del distribuidor* (después del retraso designado de un día) y los envía de su inventario, si se puede. Estas cantidades se restan de los valores actuales en la hoja de cálculo del inventario. Cualquier orden no satisfecha se convierte en orden atrasada para el siguiente día.

d) La fábrica decide si emitir una orden de trabajo para producir los CD, ya sea para inventario o para órdenes. Si se requiere la producción, se emite una orden de trabajo para la planta, la orden se registra en la hoja de cálculos del inventario. Recuerde que se aplica un costo de preparación a cada *orden de producción.* Es importante mantener un registro cuidadoso de toda la producción en proceso.

Recuerde, una vez que se coloca una orden, no puede cambiar y no se pueden hacer envíos parciales. Cada día, registre en su inventario final la cantidad en órdenes atrasadas o ventas perdidas y si se colocó una orden (o se inició una corrida de producción). Después de que todos completen las transacciones para el día, la secuencia se repite, comenzando con el paso *a*) de la tienda. Su instructor le dirá cuántos días simulados corren para este ejercicio.

Cuando el juego se detiene, encuentre la cantidad acumulada de inventario y otros costos. Puede hacerlo sumando los números en cada columna y luego multiplicando estos totales por los costos previamente listados. Utilice el total de estos costos para evaluar qué tan bien operó su equipo la cadena de distribución.

Fuente: este ejercicio fue desarrollado por Larry Meile, Carroll School of Management, Boston College. Con permiso de Larry Meile.

CASO Brunswick Distribution, Inc.

Alex Brunswick, director ejecutivo de Brunswick Distribution, Inc. (BDI) miró por la ventana, era otro día sofocante y se preguntaba qué podía haber salido mal en su compañía. Acababa de revisar su desempeño financiero reciente y observó algo que le preocupó. BDI ha experimentado un periodo de crecimiento robusto en los últimos cuatro años. "¿Qué puede estar mal?" pensó. "Nuestras ventas han crecido a una tasa promedio de 8% en los últimos cuatro años, pero parece que estamos peor que antes". Se reclinó en su silla con un suspiro profundo y continuó revisando el reporte en su escritorio.

Las ventas se habían elevado en forma constante los últimos cuatro años, pero el futuro era incierto. Alex Brunswick estaba consciente de que parte del crecimiento pasado había sido el resultado de que algunos competidores en el área habían cerrado sus negocios, situación que era poco probable que continuara. Sin embargo, los ingresos netos habían declinado los últimos tres años y se espera que disminuyan más el siguiente.

Brunswick tiene la determinación de dar la vuelta a su compañía dentro de los siguientes tres años. Se reclinó de nuevo y llamó a su asistente por el intercomunicador: "Carla, ¿puede pedir a Marianna y a Bradley que vengan?".

Antecedentes

El negocio de distribución, en su forma más simple, implica la compra de inventario a una variedad de fabricantes y su reventa a las tiendas. Durante los últimos 3 a 5 años, las demandas sobre el inventario cambiaron considerablemente; ni los fabricantes ni las tiendas quieren manejar inventarios, dejando que los distribuidores aprovechen la holgura. Además, la tendencia

en aumento de las tiendas a ordenar directamente con los fabricantes coloca más presión en la rentabilidad de los distribuidores en general.

Después de los humildes inicios en un cobertizo detrás de la casa de la abuela de Brunswick, la compañía se cambió a una instalación rentada de 10,000 pies cuadrados. Hace 10 años, BDI comenzó la distribución de electrodomésticos de alta calidad para complementar los productos de margen bajo. BDI firmó un acuerdo con KitchenHelper Corp., un fabricante grande de estos productos, localizado a 35 millas de Moline, Illinois, para distribuir productos KitchenHelper a sus clientes en la región. Durante esos años BDI tuvo un crecimiento estable y expandió su área de cobertura. En la actualidad, Brunswick cubre un área con un radio de 200 millas desde la instalación principal de la compañía. Dado el rápido crecimiento, BDI compró la instalación rentada e hizo adiciones para que su capacidad fuera de 30,000 pies cuadrados.

La caída de varios de sus competidores dio como resultado la adquisición de nuevos clientes y algunas líneas de productos nuevas. Por tradición, la orden tienda-distribuidor-fabricante tenía lugar vía fax o teléfono. Brunswick consideró implementar un sistema para ordenar a través de Internet, pero no estaba seguro del potencial operativo y los beneficios de marketing que podía proporcionar.

Preocupaciones

Mercado

La competencia directa de los distribuidores aumentó en los últimos cinco años. Como resultado, los distribuidores más exitosos adoptaron una estrategia de valor agregado para permanecer competitivos. Las tiendas querían entregas confiables para apoyar sus promociones de venta y promesas a los clientes. También querían la libertad de tener promociones en cualquier momento, según lo dictaran las condiciones competitivas, y con un aviso de corto tiempo a los distribuidores. Además, querían la oportunidad de elegir entre una amplia variedad de aparatos. De cualquier forma, se ganan muchas órdenes con base en el precio y se pierden por problemas en la entrega.

Finanzas

Los fabricantes suelen exigir el pago entre 30 y 45 días y no proporciona consideraciones financieras. Las tiendas, por otro lado, pagan en 50 a 60 días. Esta diferencia, con frecuencia, deja a BDI en una mala situación de efectivo que pone una tensión adicional en su préstamo operativo actual. La capacidad de préstamo de la compañía casi se agota. Cualquier financiamiento adicional tendrá que buscarse en otras fuentes. Dada la situación financiera de BDI, cualquier financiamiento adicional tendrá que otorgarse con cargos más altos que la deuda actual de la compañía.

Operaciones

La rotación del inventario también ha presentado un problema en los últimos cinco años. En los dos años previos, ha ocurrido una disminución significativa en la rotación. Parece probable que dicha tendencia continuará.

Las órdenes de los minoristas entran cuando sus clientes se acerquen a la terminación de la construcción o la renovación. Aun cuando la información histórica proporciona una buena marca comparativa para las ventas futuras, el mercado cambiante ha disminuido la confiabilidad de la información. Los cambios también afectaron los pedidos de BDI. Los fabricantes requieren proyecciones a 60, 90 y 120 días para presupuestar su producción. Algunas penalizaciones se evalúan cuando BDI cambia una orden después de colocarla con el fabricante.

Aspectos estratégicos

Cuando Marianna y Bradley entraron en la oficina de Brunswick, todavía estaba ponderando el informe. "Tomen asiento", les gruñó. Supieron que iban a tener un día largo. Brunswick les resumió el asunto por el que los había llamado y ellos de inmediato entraron en una acalorada discusión. Brunswick señaló que BDI necesitaba estructurarse de manera adecuada para manejar la recesión y la realidad del mercado actual. "Necesitamos estar bien posicionados para el crecimiento conforme el mercado se estabilice", dijo. Para cumplir este reto, BDI debe evaluar varias alternativas. Algunas opciones posibles pueden incluir expandir los sistemas actuales, cuando sea necesario, desarrollar nuevos sistemas que interactúen con los proveedores, clientes y recursos de transporte comercial para obtener una visión del los activos totales.

Antes de tomar cualquier decisión de inversión, Brunswick les recordó que BDI tendría que evaluar los requerimientos de capital, igual que la contribución esperada para la compañía y el porcentaje de mercado que cualquier opción pudiera proporcionar. La presentación uno muestra el estado de ingresos para el año actual.

Inversión en nueva infraestructura

Bradley Pulaski, vicepresidente de operaciones, dijo: "Desde que Associated Business Distribution Corp. dejó de operar hace cuatro años, hemos estado inundados con llamadas telefónicas y correos electrónicos de clientes potenciales en todo el Medio Oeste que buscan una alternativa a los servicios de ABD. Estas peticiones vienen no solo de clientes anteriores de ABD, sino de clientes potenciales que no han tratado con ABD ni con nosotros. No podemos servir adecuadamente a este mercado desde nuestros almacenes actuales porque los clientes no quieren esperar entregas tardadas. Por ahora atendemos a algunos clientes en esa región; sin embargo, no creo que podamos conservarlos mucho tiempo debido a nuestro retraso en la entrega. Para aprovechar esta oportunidad tendríamos que construir un nuevo almacén para complementar nuestros recursos ya afectados y poner el inventario en 'posición adelantada' para acortar la entrega a clientes que avisan con poco tiempo. Estamos en desventaja por una infraestructura poco adecuada, muy pequeña para nuestros requerimientos. Solo tenemos el almacén de Moline en este momento." La adición de nuevas instalaciones proporcionaría a BDI una oportunidad para aumentar la penetración en mercados industriales clave en el Medio Oeste donde la compañía tiene una presencia limitada.

PRESENTACIÓN 1 ▼

Informe de ingresos de la compañía ($000)

Ingreso		33,074
Costo de bienes vendidos		
Costos de envío	8,931	
Materiales directos	5,963	
Mano de obra directa y otros	6,726	
Total	21,620	
Ganancia bruta		11,454
Gastos de operación		
Gastos de venta	2,232	
Gastos fijos	2,641	
Depreciación	1,794	
Total	6,667	
Ingresos antes de interés e impuestos		4,787
	Gasto de interés	838
Ingresos antes de impuestos		3,949
	Impuestos @ 35%	1,382
Ingreso neto		2,567

El financiamiento para esta opción sería un reto, debido a que BDI está cerca de su límite de crédito con su banco principal, pero no se descartaba financiamiento adicional con bancos más grandes de Chicago, aunque sería costoso porque las tasas de interés actuales en préstamos a largo plazo comenzaban en 11%. Según Bradley, esta opción costaría $2 millones para la propiedad y $10 millones para planta y equipo. Las nuevas instalaciones

se depreciarían en 20 años. El préstamo a 20 años sería pagado con un solo pago completo al final del préstamo. Con la infraestructura adicional BDI podría incrementar sus ventas anuales en $4,426,000. Además, los tiempos de entrega a los clientes en la región se reducirían de cinco días a dos, lo que sería muy competitivo. Debido a la capacidad adicional de almacén, BDI podría también incrementar el número de marcas y modelos de electrodomésticos para servir mejor las necesidades de las tiendas con más variedad. No obstante, ciertas categorías en los costos de los bienes también aumentarían. El costo anual de envíos total, que incluye la entrega del proveedor al almacén al igual que la entrega a los clientes, aumentaría $955,000. Los costos anuales de materiales (por los aparatos vendidos) y los costos de mano de obra aumentarían 6% cada uno. Los activos totales aumentarán de $30,170,000 a $43,551,000. Este aumento toma en cuenta los cambios en la inversión del inventario, que se convertiría en $7,200,000, cuentas por cobrar, propiedad y planta y equipo.

Simplificación del centro de distribución

Marianna Jackson, vicepresidente de logística, señaló: "Creo que hay una oportunidad para capitalizar el vacío que dejan nuestros rivales caídos al utilizar un sistema de distribución eficiente en costos. No necesitamos una nueva instalación, podemos continuar dando servicio a los clientes de Medio Oeste lo mejor que podamos. Tenemos un inventario considerable que no se ha movido simplemente por nuestro ineficiente sistema de inventarios. Una de las prioridades más importantes es trabajar con diligencia con el departamento de control de inventarios para conservar lo que necesitamos y deshacernos de lo que no. Este enfoque nos permitirá utilizar el espacio recuperado de los artículos no necesarios por equipo de almacén automatizado que nos permita ser más eficientes. Todo lo que hacemos y cada dólar que gastamos afecta a nuestros clientes. Debemos mantener precios competitivos. Nuestro costo de operación es el costo del cliente. Nuestra meta es permitir a los clientes gastar sus recursos en disponibilidad y herramientas para su oficio, no en logística. Esta opción no nos ayuda con la variedad de productos o la velocidad de entrega; sin embargo, aumentará nuestro desempeño de entrega a tiempo y mejorará nuestra flexibilidad para responder a cambios en las órdenes de las tiendas y apoyar sus programas de ventas".

La opción de tener un centro integrado, compuesto de sistemas automáticos sofisticados, equipo avanzado de manejo de materiales y tecnología de la información especializada proporcionará a BDI tanto la versatilidad como la capacidad para ofrecer productos mejorados y servicios a los clientes de Brunswick. El sistema apoyaría órdenes en tiempo real, planeación y programación logística y servicio después de la venta. Cuando se recibe una orden a través del centro de llamadas en las oficinas de Moline de Brunswick, se reenvía a un centro de logística para procesarla. Se proporciona al cliente una fecha de entrega basada en la disponibilidad de camiones. Las órdenes se agruparían por destino, de manera que los camiones se cargan eficientemente para maximizar su capacidad. La orden entonces se programa para entrega y se notifica al cliente la llegada estimada. Esta nueva tecnología de la información mejorará la confiabilidad de BDI en la entrega de productos cuando se prometen. El sistema incluye un sistema automático de almacenaje y retiro (AS/AR). El AS/AR selecciona una orden de un cliente y la mueve a un muelle de carga para cargar un camión que sale hacia la ubicación del cliente. El costo de capital para este sistema sería de $7 millones, que se depreciarían en 10 años. Los costos de operación, incluida la capacitación sería de $0.5 millones cada año. Brunswick consideraría estos costos como gastos fijos, pero el sistema mejorado tendría ahorros tremendos en costos. Marianna estima que el sistema ahorrará hasta 16% en gastos de envío y 16% en gastos anuales de mano de obra. Los activos totales aumentarían de $30,170,000 a $35,932,000 para dar cuenta de los cambios en las cuentas por cobrar y el equipo. Los inventarios agregados serían de solo $4,500,000 debido a la menor necesidad de inventario de seguridad. BDI puede financiar esta opción utilizando un préstamo a 10 años a una tasa de 10% de interés. El préstamo se podría cubrir con un pago completo al final del plazo.

Estos ahorros vendrían de un manejo más eficiente de las órdenes de los clientes por el centro de llamadas, mejor planeación y programación de los envíos y mejor comunicación entre los almacenes y el cliente, que darán como resultado una reducción drástica en los costos de envío en la cadena de suministro; se requerirán menos operarios. Marianna Jackson piensa que BDI puede mantener su nivel de servicio actual con su opción al tiempo que se vuelve mucho más eficiente.

La decisión

Alex Brunswick ponderó las dos opciones propuestas por Bradley Pulaski y Marianna Jackson. La opción de Bradley permite a la empresa aumentar sus ingresos atendiendo a más clientes. La erogación de capital es cuantiosa, pero la opción de Marianna se enfoca en el servicio a los clientes de Brunswick existentes con mayor eficiencia; no obstante, es incierto que BDI pueda conservar a sus clientes del Medio Oeste. Brunswick se da cuenta de que no puede realizar las dos opciones, dada la posición financiera actual. Brunswick utiliza 12% de costo de capital como tasa de descuento al tomar decisiones financieras. ¿De qué manera afectará cada opción las medidas de desempeño operacional y financiero, las cuales son observadas de cerca por los inversionistas? ¿Qué opción de diseño de cadena de suministro será la mejor para la compañía?

Referencias seleccionadas

Aron, Ravi y Jitendra V. Singh. "Getting Offshoring Right". *Harvard Business Review* (diciembre, 2005), pp. 135-143.

de Waart, Dick y Steve Kemper. "5 Steps to Service Supply Chain Excellence". *Supply Chain Management Review* (enero/febrero, 2004), pp. 28-35.

Duray, Rebecca. "Mass Customization Origins: Mass or Custom Manufacturing?" *International Journal of Operations and Production Management*, vol. 22, núm. 3 (2002), pp. 314-328.

Ellram, Lisa M. y Baohong Liu. "The Financial Impact of Supply Management". *Supply Chain Management Review* (noviembre/diciembre, 2002), pp. 30-37.

Fisher, Marshall L. "What Is the Right Supply Chain for Your Product?" *Harvard Business Review* (marzo/abril, 1997), pp. 105-116.

Flynn, Laurie J. "Built to Order". *Knowledge Management* (C≈11 de diciembre, 2000), www.destinationkm.com

Garber, Randy y Suman Sarkar. "Want a More Flexible Supply Chain?" *Supply Chain Management Review* (enero/febrero, 2007), pp. 28-34.

Glatzel, Christoph, Jocher Großpietsch e Ildefonso Silva. "Is Your Top Team Undermining Your Supply Chain?" *McKinsey Quarterly* (enero, 2011), pp. 1-6.

Goel, Ajay K., Nazgol Moussavi y Vats N. Srivastan. "Time to Rethink Offshoring?" *McKinsey on Business Technology: Innovations in IT Management*, núm. 14 (invierno, 2008), pp. 32-35.

Grey, William, Kaan Katircioglu, Dailun Shi, Sugato Bagchi, Guillermo Gallego, Mark Adelhelm, Dave Seybold y Stavros Stefanis. "Beyond ROI". *Supply Chain Management Review* (marzo/abril, 2003), pp. 20-27.

Hartly-Urquhart, Roland. "Managing the Financial Supply Chain". *Supply Chain Management Review* (septiembre, 2006), pp. 18-25.

Hartvigsen, David. *SimQuick: Process Simulation with Excel*, 2a ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2004.

Hofman, Debra. "Supply Chain Measurement: Turning Data Into Action". *Supply Chain Management Review* (noviembre, 2007), pp. 20-26.

Lee, Hau L. "The Triple-A Supply Chain". *Harvard Business Review* (octbre, 2004), pp. 102-112.

Reeve, James M. y Mandyam M. Srinivasan. "Which Supply Chain Design is Right for You?" *Supply Chain Management Review* (mayo/junio, 2005), pp. 50-57.

Roberts, Dexter. "China's Factory Blues". *Businessweek* (7 de abril, 2008), pp. 78-82.

Slone, Reuben E., John T. Mentzer y J. Paul Dittmann. "Are You the Weakest Link in Your Supply Chain?" *Harvard Business Review* (septiembre, 2007), pp. 116-127.

Stavrulaki, Euthemia y Mark Davis. "Aligning Products with Supply Chain Processes and Strategy". *The International Journal of Logistics Management*, vol. 21, núm. 1 (2010), pp. 127-151.

Tiede, Tom y Kay Ree Lee. "What is an Optimal Distribution Network Strategy?" *Supply Chain Management Review* (noviembre, 2005), pp. 32-39.

Bloomberg/Contributor/Getty Images

11

DECISIONES DE LOCALIZACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO

Un vehículo crossover X6 BMW terminado espera la inspección final en la planta de la compañía en Spartanburg, Carolina del Sur, Estados Unidos. La localización de esta planta se eligió con cuidado después de un estudio extenso y numerosas concesiones del gobierno. Los vehículos Sport Activity X6 y X5, al igual que el Z4, se diseñaron y construyeron en esta planta.

Bavarian Motor Works (BMW)

Bavarian Motor Works (BMW), fundada en 1917 con casa matriz en Munich, Alemania, es un fabricante de un segmento de marcas selectas de primera línea como BMW, MINI, y Rolls-Royce Motor Cars en el mercado internacional de automóviles. Cuando se enfrentó con tasas de cambio fluctuantes y costos de producción crecientes al final de la década de 1980, BMW decidió que era tiempo de considerar operar una nueva instalación de producción fuera de las fronteras europeas. Utilizó un enfoque de "página en blanco" para compilar una lista de 250 sitios potenciales en todo el mundo. Un análisis más profundo disminuyó la lista a 10 opciones viables; se prefirió ubicar la planta en Estados Unidos debido a su proximidad con un segmento de mercado grande para los autos de BMW.

La selección del sitio de la planta involucró factores que habían sido analizados antes de su construcción. BMW consideró el ambiente laboral en cada país, las restricciones y los requerimientos geográficos y sus relaciones con los gobiernos de los países en los que se encontraban los sitios prospecto. En términos del ambiente laboral, se necesitaba una fuerza de trabajo capaz debido a la naturaleza compleja del proceso de fabricación de automóviles. Como el costo para capacitar a un solo trabajador en la industria está entre $10,000 y $20,000, este factor es particularmente crítico. Debían examinarse los factores geográficos porque era necesario que miles de partes de automóviles se entregaran por proveedores nacionales y extranjeros. Con el fin de mantener el costo de la cadena de suministro bajo, se decidió que la nueva ubicación debía tener amplio acceso por carreteras y estar razonablemente cerca de un puerto del cual pudieran transportarse con facilidad suministros y vehículos terminados.

Otra consideración era el acceso sencillo a un aeropuerto para los ejecutivos de BMW que viajarían a las oficinas en Alemania. El último factor de localización se relacionaba con el gobierno. BMW quería moverse a un lugar que fuera "amigable para los negocios" en términos de hacer concesiones en aspectos como mejoras en la infraestructura, reducción de impuestos y programas de educación y selección de empleados. La meta global era crear una relación entre BMW y la comunidad local tan benéfica como fuera posible para ambas partes, a través de un esfuerzo coordinado de mejora.

Después de tres años y medio de un proceso de búsqueda que evaluó rigurosamente las 10 opciones según todos estos factores, BMW decidió construir una nueva planta de producción de 2 millones de pies cuadrados en Spartanburg, Carolina del Sur. La decisión final se tomó con base en una buena correspondencia de los criterios de selección y el entorno de Spartanburg. Los legisladores de Carolina del Sur se mostraron flexibles y abiertos en cuanto a la manera en que el estado abordaría las necesidades establecidas de BMW. Por ejemplo, acordaron adquirir los 500 acres necesarios para construir la planta (que requería pasar un paquete de bonos de $25 millones), mejorar el sistema carretero alrededor de la instalación (que requería $10 millones), alargar la pista y modernizar la terminal del aeropuerto de Spartanburg (un gasto de $40 millones). La legislatura también acordó otorgar incentivos de impuestos, aliviar los impuestos a la propiedad y establecer un programa de capacitación y selección de empleados para asegurar la mezcla correcta de trabajadores. (Tan solo procesar las solicitudes resultó ser una tarea enorme porque se recibieron más de 50,000 solicitudes). Tal vez Carolina del Sur no tenía la calificación más alta en todos los criterios de decisión, pero, tomado como un todo, Spartanburg era el mejor lugar para BMW.

Esta ubicación resultó ser buena. La planta, que abrió en julio de 1994, tuvo una expansión de $200 millones en 1996, una expansión de $50 millones en 1999, una de $300 millones en 2000 y otra de $750 millones de dólares en marzo de 2008. BMW Manufacturing Corporation en Carolina del Sur, hoy es parte de la red de manufactura global de BMW Group y actualmente tiene a 7,000 personas para producir los vehículos X3 y X5 Sports Activity y el X6 Sports Activity Coupe en su campus de 1,150 acres, o 4 millones de pies cuadrados. Además de una inversión de casi $5 mil millones de dólares de BMW, Carolina del Sur ha cosechado recompensas en la forma de crecimiento de negocios (BMW tiene 170 proveedores estadounidenses con 40 solo en Carolina del Sur), empleos y mejoras a la comunidad, una historia de éxito para todos.

Fuente: "Manager's Journal: Why BMW Cruised into Spartanburg", *Wall Street Journal* (6 de julio, 1992), p. A10; "BMW Announces Its Plans for a Plant in South Carolina", *Wall Street Journal* (24 de junio, 1992), p. B2; P. Galuszka, "The South Shall Rise Again", *Chief Executive* (noviembre, 2004), pp. 50-54; Southern Business & Development, **www.sb-d.com** (junio, 2005); **www.bmwusfactory.com**, mayo, 2011.

METAS DE APRENDIZAJE *Después de estudiar este capítulo, usted será capaz de:*

1. Explicar la manera en que las decisiones de localización se relacionan con el diseño de la cadena de suministro.
2. Identificar los factores que afectan las opciones de localización.
3. Comprender el papel de los sistemas de información geográfica en la toma de decisiones de localización.
4. Comprender las técnicas de ubicación de una sola instalación.
5. Comprender los métodos de localización de instalaciones múltiples.

Empresas como BMW evalúan su red de cadenas de suministro en su totalidad al decidir dónde poner una nueva instalación. La **localización de la instalación** es el proceso de determinar los lugares geográficos para las operaciones de una empresa, que pueden incluir una planta de manufactura, un centro de distribución y un centro de servicio a clientes. Un **centro de distribución** es un almacén o lugar de suministros donde los bienes se guardan para su posterior distribución a los fabricantes, mayoristas, minoristas y clientes. La elección de la ubicación puede ser en extremo importante para las empresas y tener un profundo impacto sobre sus cadenas de suministro. Por ejemplo, pueden afectar el proceso de relación con el proveedor. La economía global en expansión da a las empresas mayor acceso a proveedores en todo el mundo, muchos de los cuales quizá ofrezcan costos de entrada más bajos o mejor calidad en los servicios y productos. De todas formas, cuando las instalaciones de manufactura se deslocalizan, ubicarse lejos de los proveedores suele llevar a costos de transporte más altos y dificultades en la coordinación. Las decisiones de localización de una empresa también pueden afectar el proceso de relación con el cliente. Si el cliente debe estar físicamente presente en el proceso, es poco probable que una ubicación sea aceptable si el tiempo o la distancia entre el proveedor del servicio y el cliente es grande. Por otra parte, si el contacto con cliente es más pasivo e impersonal o si se procesan materiales o información en lugar de personas, entonces el lugar puede tener menos importancia. La tecnología de la información y la Internet algunas veces ayudan a superar las desventajas relacionadas con la ubicación de una compañía. Aún así, una cosa está clara: la localización de las instalaciones de un negocio tiene un impacto significativo en los costos de operación de la compañía, los precios que cobra por los servicios y bienes, y su habilidad para competir en el mercado y penetrar en segmentos de nuevos clientes.

Analizar los patrones de localización para descubrir la estrategia fundamental de una empresa es fascinante. Para reconocer el impacto estratégico que las decisiones de localización tienen al implementar la estrategia de una empresa y el diseño de la cadena de suministro, primero consideramos los factores cualitativos que influyen en la elección de localización y sus implicaciones en toda la organización. Después examinamos una tendencia importante en los patrones de localización: el uso de sistemas de información geográfica (GIS, *Geographical Information Systems*) para identificar los segmentos del mercado y la manera en que servir a cada segmento puede afectar rentablemente las decisiones de localización. Terminamos presentando algunas técnicas analíticas para tomar decisiones de localización de una o varias instalaciones y comprender su impacto en toda la cadena de suministro.

localización de la instalación
Proceso de determinar los sitios geográficos para las operaciones de una empresa.

centro de distribución
Almacén o punto de almacenaje donde se guardan los bienes para su posterior distribución a fabricantes, mayoristas, minoristas y clientes.

Creación de valor mediante la administración de operaciones

↓

Utilización de las operaciones para competir
Administración de proyectos

Administración de procesos

↓

Estrategia de procesos
Análisis de procesos
Calidad y desempeño
Planeación de capacidad
Administración de restricciones
Sistemas esbeltos

Administración de la cadena de suministro

↓

Administración del inventario de la cadena de suministro
Diseño de la cadena de suministro
Decisiones de localización de la cadena de suministro
Integración de la cadena de suministro
Sustentabilidad de la cadena de suministro y logística humanitaria
Pronósticos
Planeación y programación de las operaciones
Planeación de recursos

Decisiones de localización en toda la organización

Las decisiones afectan los procesos y los departamentos de toda la organización. Cuando se busca la ubicación de nuevas instalaciones de ventas, como las tiendas Wendy, marketing debe evaluar con cuidado cuánto atraerá la instalación a los clientes y si puede abrir nuevos mercados. Reubicar toda o parte de una organización afectaría significativamente las actitudes de la fuerza de trabajo de la empresa y su habilidad para operar con efectividad a través de todas las líneas departamentales. La localización también tiene implicaciones para el departamento de recursos humanos de una empresa, que debe estar a tono con sus necesidades de contratación y capacitación. Ubicar nuevas instalaciones o relocalizar las existentes suele ser costoso; por tano, los departamentos de contabilidad y finanzas deben evaluar estas decisiones con todo cuidado. Por ejemplo, cuando BMW ubicó su planta en Carolina del Sur, el ambiente económico del estado y los incentivos monetarios ofrecidos por los legisladores tuvieron injerencia en el pago financiero asociado con la nueva planta propuesta. Por último, el área de operaciones también tiene intereses importantes en las decisiones de ubicación debido a las necesidades de localización para poder cumplir con las demandas del cliente y proporcionar la cantidad correcta de contacto con los clientes (tanto internos como externos). Cuando sus fábricas están lejos, las empresas como Gillette crean una participación activa localizando centros de distribución en el extranjero, donde los empleados conocen la cultura local y el lenguaje, y ofrecen "una sola cara al cliente". Las operaciones internacionales, como las de McDonald's, Starbucks, Toyota y Walmart introducen un nuevo conjunto de retos porque establecer y administrar instalaciones y empleados en otros países puede ser muy tardado y difícil. Aun así, es una parte importante del crecimiento de una empresa. Por ejemplo, Starbucks tiene más de 17,000 instalaciones, con 6,000 de ellas en 50 países dispersos por todo el planeta.

Factores que afectan las decisiones de localización

Los administradores de organizaciones de servicios y manufactura deben ponderar muchos factores al evaluar qué tan deseable es una ubicación en particular, incluyendo su proximidad con los clientes y proveedores, los costos de mano de obra y los costos de transporte. Los administradores en general pueden ignorar factores que no cumplan al menos una de las siguientes condiciones:

1. *El factor debe ser sensible a la ubicación.* En otras palabras, los administradores no deberían considerar un factor en el que no influye la decisión de localización. Por ejemplo, si las actitudes de una comunidad son uniformemente buenas en todos los lugares considerados, las actitudes no deben considerarse como un factor.

Typhoonsk/Dreamstime.com

Starbucks dentro de los centros comerciales es un hecho, pero solo en Dubai encontrará un centro comercial tan lujoso como el masivo (y temático) Ibn Battuta Mall. Mientas que Starbucks no tiene algo especial que mirar, el Persia Court donde está localizado tiene un domo de mosaicos estupendo. El centro comercial es en esencia un homenaje al viajero y aventurero árabe Ibn Battuta y cada parte de la edificación representa una tierra diferente a la que viajó. Este Starbucks está ubicado en Persia y el arte del domo está en color azul y mosaicos persas. Pero resulta difícil creer que Battuta haya encontrado realmente un Starbucks en sus viajes.

2. *El factor debe tener un alto impacto en la habilidad de la compañía para lograr sus metas.* Por ejemplo, aunque las diferentes instalaciones se localizarán a diferentes distancias de los proveedores, si los envíos tienen lugar durante la noche y la comunicación con ellos se hace por fax, correo electrónico o teleconferencias, no es probable que la distancia tenga un alto impacto en la habilidad de la empresa para lograr sus metas. Entonces no debe considerarse un factor.

Los administradores dividen los factores de localización en dominantes y secundarios. Los factores dominantes se derivan de las prioridades competitivas (costo, calidad, tiempo y flexibilidad) y tienen un impacto particularmente fuerte en las ventas o los costos. Por ejemplo, un ambiente laboral agradable y los incentivos monetarios fueron factores dominantes que afectaron la decisión de ubicar la planta de BMW en Spartanburg, Carolina del sur. Los factores secundarios también son importantes, pero la administración puede restarles relevancia o incluso ignorar algunos de ellos si otros factores son más importantes. Entonces, para la planta Saturn de GM, que hace sus partes en la planta, los costos de transporte para llegar se consideraron menos sobresalientes y por ende fueron factores secundarios.

Factores dominantes en la manufactura

Los siguientes siete grupos de factores dominan las decisiones que las empresas, incluyendo a BMW, toman acerca de la localización de nuevas plantas de manufactura o centros de distribución. Con frecuencia hay un trueque entre factores. La ubicación de una instalación, digamos, en un lugar con altos costos de mano de obra tal vez tenga sentido si otros factores como logística, impuestos y proximidad a los clientes son favorables. Bajar los costos totales del diseño, desarrollo, manufactura y distribución de un producto en su mercado se vuelve especialmente importante cuando se desarrollan cadenas de suministro internacionales y se encuentran ubicaciones para plantas, centros de distribución, estudios de diseño de software y cosas por el estilo.

Ambiente laboral favorable Un ambiente laboral favorable bien puede ser el factor más importante para las empresas con mano de obra intensiva en industrias como la textil, muebles y productos electrónicos para el consumidor. El ambiente laboral es una función de las tasas de salarios, los requerimientos de capacitación, las actitudes hacia el trabajo, la productividad del trabajador y la fuerza del sindicato. Muchos ejecutivos perciben sindicatos débiles o una baja probabilidad de los esfuerzos de organización del sindicato como una ventaja singular. Tener un ambiente favorable se aplica no solo a la fuerza de trabajo, sino también a los empleados que la empresa espera que se transfieran o se sientan atraídos por el nuevo sitio. En 2009 Boeing tomó una decisión de localizar sus líneas de ensamblaje para los aviones Dreamliner en Charleston, Carolina el Sur, por el ambiente laboral favorable, al igual que por la presencia de otras instalaciones de Boeing y proveedores en el área. Fue una decisión bien pensada y elaborada porque solo hay tres sitios en el mundo en los que se ensamblan jets de fuselaje ancho: Everett, Washington; Charleston, Carolina del Sur, y Toulouse, Francia (plantas de Airbus). La planta de 1.2 millones de pies cuadrados fue inaugurada formalmente en junio de 2011 a pesar de una queja presentada por el National Labor Relations Board en nombre de los sindicatos en el estado de Washington. Boeing mantendrá líneas de ensamble del Dreamliner en ambas plantas y, de hecho, creó 2,000 nuevos trabajos en el estado de Washington para apoyar el esfuerzo.

Proximidad a los mercados Después de determinar dónde está la mayor demanda de los servicios y bienes, la administración debe seleccionar un lugar para la instalación que suministre esa demanda. Localizar mercados cercanos es en particular importante cuando los bienes finales son grandes o pesados y las tasas de transporte *hacia afuera* (*outbound*) son altas. Por ejemplo, los fabricantes de productos como tubería de plástico o metales pesados requieren proximidad a sus mercados.

Impacto ambiental Debido que la atención se centra en la sustentabilidad cada vez más, las empresas buscan reconocer el impacto ambiental de las decisiones de ubicación. Junto a minimizar la huella del carbón de la nueva instalación y las instalaciones adicionales en la cadena de suministro, debe considerarse reducir los costos de energía totales. Estos aspectos y otros relacionados se cubren con más detalle en el capítulo 13, "Sustentabilidad de la cadena de suministro y logística humanitaria".

Calidad de vida Buenas escuelas, instalaciones recreativas, eventos culturales y un estilo de vida atractivo contribuyen a la **calidad de vida**. Este factor puede marcar la diferencia en las decisiones de localización. En Estados Unidos durante las dos últimas décadas, más de 50% de los nuevos trabajos industriales están localizados en las regiones suburbanas. Un cambio similar está ocurriendo en Japón y Europa. Las razones de este movimiento incluyen el alto costo de la vida, la alta tasa de crímenes y la declinación general en la calidad de vida en muchas ciudades grandes.

calidad de vida
Factor que considera la disponibilidad de buenas escuelas, instalaciones recreativas, eventos culturales y un estilo de vida atractivo.

Proximidad a los proveedores y recursos Las empresas dependientes de entradas de materias primas grandes, perecederas o pesadas hacen hincapié en la proximidad de sus proveedores y recursos. En esos casos, los costos de transporte *hacia adentro* (*inbound*) se vuelven un factor dominante que promueve que las empresas ubiquen sus instalaciones cerca de sus proveedores. Por ejemplo, localizar fábricas de papel cerca de los bosques y las instalaciones de procesamiento de alimentos cerca de los ranchos es práctico. Otra ventaja de ubicarse cerca de los proveedores es la habilidad para mantener los inventarios bajos (vea el capítulo 8, "Sistemas esbeltos", y el capítulo 10, "Diseño de la cadena de suministro").

Proximidad a las instalaciones de la compañía matriz En muchas compañías, las plantas suministran partes a otras instalaciones o dependen de otras instalaciones en el apoyo de personal y administrativo. Estos lazos requieren comunicación y coordinación frecuentes, que puede ser más difícil cuando la distancia aumenta.

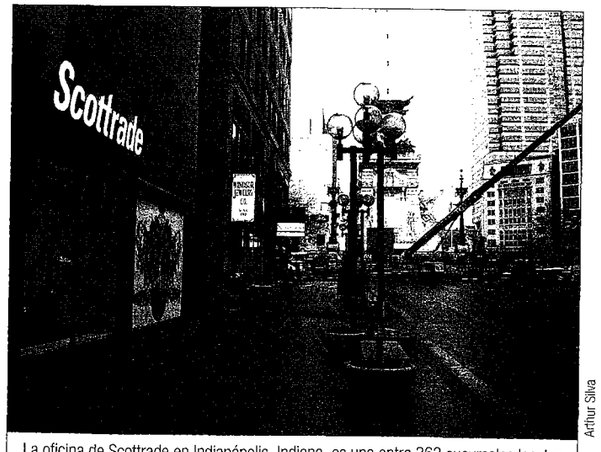
Costos de servicios públicos, impuestos y bienes raíces Otros factores de decisiones de localización incluyen servicios públicos (teléfono, energía, agua), impuestos locales y estatales, incentivos financieros ofrecidos por los gobiernos locales, costos de reubicación y costos del terreno. Por ejemplo, la localización de la planta Daimler en Alabama para la fabricación de sus vehículos "serie M", la planta de BMW en Carolina del Sur, de la viñeta de apertura del capítulo, y una planta de Toyota en Georgetown, Kentucky, fue atractiva para estas compañías en parte debido a los incentivos de los gobiernos locales.

Otros factores Todavía puede ser necesario considerar factores secundarios que incluyen espacio para expansión, costos de construcción, accesibilidad a múltiples modos de transporte, el costo de intercambiar personas y materiales, los costos de seguros, la competencia de otras empresas por la fuerza de trabajo, las ordenanzas locales (como regulaciones sobre contaminación o control de ruido), actitudes de la comunidad y muchos otros. Para las operaciones globales, las empresas necesitan una buena infraestructura local y empleados del área educados y con buenas habilidades. Muchas empresas llegan a la conclusión de que las instalaciones de manufactura centralizadas en países de bajo costo con trabajadores mal capacitados no son sustentables. Las instalaciones más pequeñas localizadas en países a los que la empresa atiende le permiten evitar problemas relacionados con las barreras comerciales como aranceles y cuotas y el riesgo de que las tasas de cambio puedan afectar de forma adversa sus ventas y ganancias.

Factores dominantes en los servicios

Los factores mencionados para los fabricantes también se aplican a los proveedores de servicio con una adición importante: el impacto de la localización en las ventas y la satisfacción del cliente. Los clientes suelen tener en cuenta la cercanía de una instalación, en particular si el proceso requiere un considerable contacto con el cliente.

Proximidad a los clientes La localización es un factor clave al determinar la conveniencia de los clientes para hacer negocio con una empresa. Por ejemplo, pocas personas preferirán una tintorería lejana o un supermercado, si hay otro más conveniente. Entonces, la influencia de la ubicación sobre los ingresos tiende a ser el factor dominante. Por otro lado, la cercanía con los clientes no es suficiente; la clave es la proximidad con los clientes que llegarán a la instalación y buscarán sus servicios. Estar cerca de clientes que coinciden con el mercado meta y la oferta de servicio de la empresa es importante para la rentabilidad.



Arthur Silva

La oficina de Scottrade en Indianápolis, Indiana, es una entre 363 sucursales locales de corretaje cerca del lugar donde viven y trabajan sus clientes.

Los costos de transporte y la proximidad a los mercados Para las operaciones de almacenaje y distribución, los costos de transporte y la proximidad a los mercados son en extremo importantes. Con un almacén cerca, muchas empresas pueden mantener el inventario cerca del cliente y reducir el tiempo de entrega y hacer ventas de promoción. Por ejemplo, Invacare Corporation de Elyria, Ohio, obtuvo una ventaja competitiva en la distribución de productos para el cuidado de la salud y del hogar descentralizando su inventario a 32 almacenes en todo el país. Invacare vende sillas de ruedas, camas de hospital y otras ayudas para pacientes —algunas de los cuales produce y otras los compra a

otras empresas— a pequeños distribuidores que las venden a los consumidores. Antes, los distribuidores, con frecuencia pequeñas operaciones familiares, tenían que esperar tres semanas para entregas, lo que significaba que su efectivo estaba estancado en un inventario que no usaban. Con la nueva red de distribución de Invacare, el distribuidor tiene entregas diarias de productos de una sola fuente. La estrategia de localización de Invacare muestra que la entrega oportuna puede ser una ventaja competitiva y ayudar a que la calificaran entre una de 500 compañías fabricantes de 2009 *Industry Week*.

Localización de competidores Una complicación relacionada con la estimación de las ventas potenciales de diferentes lugares es el impacto de los competidores. La administración no debe considerar solo la localización actual de los competidores, sino intentar anticipar su reacción a la nueva ubicación de la empresa. Evitar las áreas donde los competidores ya están establecidos, con frecuencia es bueno. Sin embargo, en algunas industrias, como la de salas de exhibición de vehículos nuevos y las cadenas de comida rápida, ubicarse cerca de los competidores, es realmente una ventaja. La estrategia es crear una **masa crítica**, mediante la cual varias empresas competidoras agrupadas en un lugar atraen más clientes que el número total que compraría en las mismas tiendas en localidades dispersas. Al reconocer este efecto, algunas empresas usan la estrategia de "seguir al líder" al seleccionar nuevos sitios.

masa crítica
Situación en la que varias empresas competitivas se agrupan en un lugar para atraer más clientes que el número total que compraría en las mismas tiendas en localidades dispersas.

Factores específicos del sitio Los minoristas también consideran el nivel de actividad de venta, la densidad residencial, el flujo de tránsito y la visibilidad del sitio. La actividad de venta en el área es importante porque a menudo los compradores deciden por impulso ir de compras o comer en un restaurante. Los flujos de tránsito y la visibilidad son importantes porque los clientes llegan en automóviles. La administración toma en cuenta posibles bloqueos, el volumen del tránsito y la dirección, según la hora del día, los semáforos, las intersecciones y la posición de las medianas de tránsito. La visibilidad involucra la distancia de la calle y el tamaño de los edificios y anuncios cercanos. Una densidad residencial alta incrementa el negocio en la noche y los fines de semana si la población del área se ajusta a las prioridades competitivas y el segmento de mercado meta.

Sistema de información geográfica y decisiones de localización

sistema de información geográfica (GIS)
Sistema computacional de software, hardware y datos que el personal de la empresa puede usar para manipular, analizar y presentar información relevante para una decisión de localización.

Un **sistema de información geográfica (GIS)** es un sistema computacional de software, hardware y datos que el personal de una empresa puede manipular, analizar y presentar información relevante para una decisión de localización. Un GIS también integra diferentes sistemas para crear una representación visual de las opciones de ubicación de una empresa. Entre otras cosas, se puede usar para: **1.** guardar una base de datos, **2.** desplegar mapas y **3.** crear modelos que toman información de bases de datos existentes, aplican funciones analíticas y escriben resultados en una nueva base de datos derivada. Juntas, estas tres funcionalidades de almacenamiento de datos, despliegue de mapas y modelado, son partes cruciales de un GIS inteligente y se utiliza hasta cierto grado de variación en todas las aplicaciones de GIS.

Un sistema GIS suele ser una herramienta realmente útil en la toma de decisiones porque muchas de las decisiones tomadas por los negocios hoy en día tienen un aspecto geográfico. Un GIS guarda información en varias bases de datos que se pueden ligar de manera natural a lugares, como ventas a clientes y lugares, o una zona censal o el porcentaje de residentes en la zona que ganan cierta cantidad de dinero al año. La demografía de un área incluye el número de personas en el área estadística metropolitana, ciudad o código postal; ingreso promedio, número de familias con niños, etc. Estos datos demográficos pueden ser variables importantes en la decisión de cómo llegar mejor al mercado meta. De forma similar, el sistema de caminos, incluyendo puentes y carreteras, localización de aeropuertos y puertos cercanos y la topología (montañas, bosques, lagos, etc.), tienen un papel importante en las decisiones de localización de instalaciones. Como tal, un GIS tiene un conjunto de aplicaciones relacionadas con las ubicaciones en diferentes industrias como las ventas, bienes raíces, gobierno, transportes y logística.

La práctica administrativa 11.1 ilustra cómo las cadenas de comida rápida utilizan GIS para seleccionar mejor los lugares. Los datos del gobierno ofrecen una carga inicial de información estadística utilizada para mejorar las decisiones de localización basadas en GIS. Los sitios de Internet como Yahoo!, MapQuest y Expedia, entre otros, permiten obtener mapas, distancias y tiempos de viaje, y las rutas entre lugares, como entre Toronto, Ontario y San Diego, California. Además, los motores de búsqueda como Google pueden integrarse con datos demográficos de población para crear información de interés en los dominios social y de negocios. Los sitios web utilizan los mapas de Google para desplegar áreas con altos índices de delincuencia, la localización de la gasolina menos costosa y departamentos que se rentan.

Se dispone de muchos tipos de paquetes GIS, como ArcInfo (de ESRI), MapInfo (de MapInfo), SAS/GIS (de SAS Institute, Inc.) y MapPoint de Microsoft. Muchos de estos sistemas están diseñados para aplicaciones específicas como localizar tiendas, redistribuir los distritos legislativos, analizar datos de logística y marketing, administración ambiental y otros. Debido a su amplia disponibilidad y facilidad de uso, MapPoint de Microsoft es un GIS sencillo y poco costoso que se centra en los negocios de todos los días y lo usan analistas no técnicos. Su habilidad para desplegar información en los mapas puede ser una herramienta poderosa para la toma de decisiones, especialmente porque los mapas y gran parte de los datos del censo vienen en el software en lugar de tener que comprarlos por separado del vendedor de GIS como en muchos otros sistemas. MyOMLab tiene tres videos sobre cómo usar MapPoint para tomar decisiones de localización.

MyOMLab

GIS es útil para identificar localidades que se relacionen bien con el mercado meta de la empresa con base en los datos demográficos de los clientes. Cuando se complementa con otros modelos de localización, modelos de pronóstico de ventas y sistemas geodemográficos, puede dar a la empresa un arreglo formidable de herramientas para la toma de decisiones de localización.

Localización de una instalación

Habiendo examinado las tendencias y los factores importantes para localización, ahora consideramos de manera más específica cómo puede una empresa tomar decisiones de localización. En esta sección, consideramos el caso de localizar solo una nueva instalación. Los administradores deben decidir primero si expandir un sitio, construir otra instalación o reubicarla en otro sitio. La expansión en el sitio tiene la ventaja de mantener a las personas juntas, reducir tiempo y costo de construcción y evitar dividir operaciones. Sin embargo, cuando la empresa se expande a una instalación, en algún punto se establecen deseconomías de escala. El mal manejo de materiales, el control de la producción complejo y una sencilla falta de espacio son razones para construir una nueva planta o reubicar la existente.

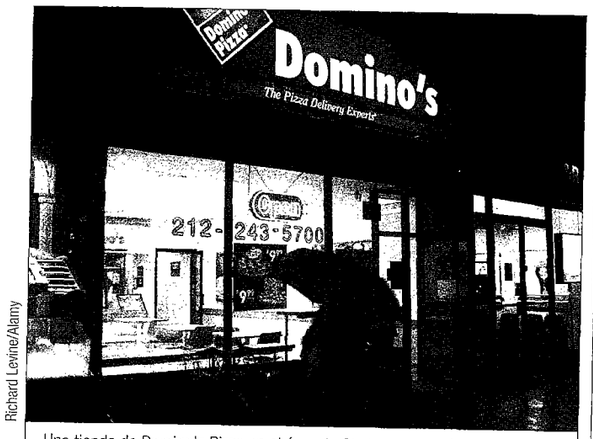
La ventaja de construir una nueva planta o moverse a una nueva tienda o espacio de oficina es que la empresa no tiene que depender de la producción de una sola planta. Una nueva planta le permite contratar más empleados, instalar maquinaria nueva más productiva y mejorar la tecnología, además de reducir costos de transporte. La mayoría de las empresas que eligen reubicarse son pequeñas (con menos de 10 empleados). Tienden a ser compañías de una sola localización apretadas en un espacio y con necesidad de rediseñar sus procesos de producción y disposiciones de planta. Más de 80% de todas las reubicaciones se hacen dentro de unas 20 millas de la localización original, lo que permite a las empresas retener a sus empleados actuales.

PRÁCTICA ADMINISTRATIVA 11.1 Cómo utilizan GIS las cadenas de comida rápida para seleccionar sus sitios

Hasta hace poco, las cadenas de comida rápida recurrían a consultores para analizar los datos geodemográficos (descripción de diferentes características acerca de personas según el lugar donde viven o trabajan) para la planeación estratégica y tomar las decisiones de localización de franquicias y marketing. Ahora, con la disponibilidad de los sistemas GIS que cuestan menos de $5,000 y se pueden operar en una PC común, las cadenas de comida rápida pequeñas y grandes lo hacen por sí mismas. Por ejemplo, Marco's Franchising, con oficina matriz en Toledo, Ohio, utiliza las soluciones GIS de MapInfo (aplicación de análisis geográfico y mapeo basada en Windows) para identificar nuevos mercados donde el panorama de clientes y competidores es mejor para nuevas instalaciones. Las tecnologías de soluciones Smart Site de MapInfo y AnySite Online proporcionan una función de mapeo interactivo y reportes para examinar estrategias de nivel de despliegue del mercado y oportunidades de sitios individuales. Estos programas estiman el dinero total en juego en un mercado analizando la edad local y los datos de ingresos, a partir del Censo de Estados Unidos al igual que los datos de ventas de las tiendas del área: números que están disponibles a través de intermediarios. Los programas también pueden informar del número óptimo de tiendas en un mercado, y cuánto puede esperar en ventas una tienda. Los análisis se realizan para cualquier mercado de Estados Unidos y se clasifican mercados en orden de viabilidad. Una lista de sitios realistas con alto potencial de ventas se puede obtener algunas veces en menos de un minuto. Otras cadenas de comida rápida pequeñas en Estados Unidos, como Cousins Subs y 99 Restaurants and Pubs, están utilizando GIS en su empresa y obtienen un gran retorno sobre sus inversiones. Por ejemplo, 99 Restaurants and Pubs encontró que podía recuperar su inversión en GIS en una sola semana.

Las cadenas de comida rápida más grandes, como Domino's Pizza, utilizan GIS para revisar sitios alternativos para nuevas franquicias, determinar cómo puede afectar las ventas mover una tienda unas cuantas cuadras, y decidir cuándo deben reubicar o remodelar las tiendas existentes. También GIS se utiliza para identificar zonas de entrega que se traslapan, y zonas que no están cubiertas. AFC Enterprises, que es dueña y vende franquicias de las cadenas de restaurantes Popeye's y Church's, utiliza GIS como ayuda para vender las franquicias. El nivel de información detallada que puede proporcionar para prospectos de franquicias marca toda la diferencia cuando se trata de cerrar un contrato.

Debido a su habilidad para proporcionar esta información, GIS es una herramienta útil para expandir una cadena de comida rápida que necesita contar con los detalles demográficos de terrenos competitivos en miles de ubicaciones en todo el país.



Richard Levine/Alamy

Una tienda de Domino's Pizza en el área de Chelsea, en la ciudad de Nueva York

Fuente: **www.gis.com/whatisgis/index.html**; Ed Rubinstein, "Chains Chart Their Course of Actions with Geographic Information Systems", *Nation's Restaurant News*, vol. 32, núm. 6 (1998), p. 49; "MapInfo Delivers Location Intelligence for Marco's Pizza", *Directions Magazine* (14 de diciembre, 2004), **www.directionsmag.com/press.releases/?duty=Show&id=10790**; Ryan Chittum, "Location, Location, and Technology: Where to Put That New Store? Site-Selection Software May Be Able to Help", *Wall Street Journal* (18 de julio, 2005), p. R7; **http://www.pbinsight.com/welcome/mapinfo/** (27 de mayo, 2011).

En promedio, es menos costoso reubicar un negocio orientado a servicios que uno de fabricación. Por ejemplo, reubicar una instalación de procesamiento de transacciones de tarjetas de crédito o cheques para un banco puede no ser tan difícil como mover una fábrica. Debido a que la proximidad a los clientes es importante, la localización de las instalaciones de servicio deben reevaluarse constantemente en el contexto de poblaciones y necesidades cambiantes. Algunas veces, una combinación de las tres opciones —quedarse en el mismo lugar, reubicarse y abrir una nueva instalación— pueden considerarse al mismo tiempo.

Cuando una instalación es parte de una red más grande de instalaciones de una empresa, suponemos que no es interdependiente; es decir, una decisión de abrir un restaurante en Tampa, Florida, es independiente de si la cadena tiene un restaurante en Austin, Texas. Comenzaremos por considerar cómo decidir si se necesita una nueva localización y luego examinaremos un proceso de selección sistemático ayudado por lo que se conoce como *método carga-distancia* para manejar la proximidad.

Comparación de varios sitios

Un proceso de selección sistemático comienza después de la percepción o evidencia que indica que abrir una nueva tienda, almacén, oficina o planta en un nuevo lugar mejorará el desempeño. El proceso de seleccionar una nueva localización para la instalación incluye una serie de pasos.

1. Identificar los factores de localización importantes y clasificarlos como dominantes o secundarios.
2. Considerar las regiones alternativas; luego reducir las opciones a comunidades alternativas y por último a sitios específicos.
3. Recolectar datos sobre las alternativas de consultores de localización, agencias estatales de desarrollo, departamentos de planeación del condado y la ciudad, cámaras de comercio, desarrolladores de urbanización, compañías de energía eléctrica, bancos, visitas al lugar. Algunos de estos datos e información también pueden estar contenidos en GIS.
4. Analizar los datos recolectados, comenzando con los factores *cuantitativos;* factores que se miden en dólares, como los costos anuales de transporte o impuestos. Los factores cuantitativos también se pueden medir en términos diferentes a dólares, como tiempo y millas de manejo. Estos valores se desglosan en categorías de costos separadas (por ejemplo, transporte de ida y regreso, mano de obra, construcción y servicios públicos) y fuentes de ingresos separados (digamos, ventas, inventario o emisiones de bonos e ingreso de interés). Estos factores financieros pueden después convertirse a una sola medida de mérito financiero como costos totales, retorno de la inversión (ROI) o valor presente neto (VPN), y utilizarla para comparar dos o más sitios, en especial si los costos de capital para la nueva instalación también se consideran.
5. Incluir los factores cualitativos pertenecientes a cada sitio en la evaluación. Un factor *cualitativo* es uno que no puede evaluarse en términos de dinero, como actitudes de la comunidad, factores ambientales o calidad de vida. Para unir los factores cuantitativos y cualitativos, algunos administradores revisan el desempeño esperado de cada factor, mientras que otros asignan a cada factor un peso de importancia relativa y calculan una calificación ponderada para cada sitio, utilizando una matriz de preferencias (vea el suplemento A, "Toma de decisiones"). Lo importante en una situación quizá no lo sea en otra, o bien, otra le sea en menor magnitud. El sitio con la calificación ponderada más alta es el mejor.

Después de una evaluación exhaustiva de todos los sitios potenciales, los que realizan el estudio preparan un informe final que con recomendaciones de sitios y un resumen de los datos y los análisis en los que se basaron. En las empresas grandes suele entregarse a la alta administración una presentación audiovisual de sus hallazgos clave.

EJEMPLO 11.1 **Cálculo de calificaciones ponderadas en una matriz de preferencias**

MyOMLab

El tutor 11.1 en MyOMLab proporciona otro ejemplo para practicar con una matriz de preferencias para decisiones de localización.

Una nueva instalación médica, Health-Watch, debe ubicarse en Erie, Pensilvania. La siguiente tabla muestra los factores de localización y calificaciones (1 = malo, 5 = excelente) para un sitio potencial. Los pesos en este caso suman 100%. Se calculará una calificación ponderada (*WS*) para cada sitio. ¿Cuál es la *WS* para este sitio?

Factor de localización	Peso	Calificación
Millas-paciente totales por mes	25	4
Utilización de la instalación	20	3
Tiempo promedio por viaje de urgencia	20	3
Accesibilidad por vía rápida	15	4
Costos de terreno y construcción	10	1
Preferencias de empleados	10	5

SOLUCIÓN

La *WS* para este sitio en particular se calcula multiplicando el peso de cada factor por su calificación y sumando los resultados:

$$\begin{aligned} WS &= (25 \times 4) + (20 \times 3) + (20 \times 3) + (15 \times 4) + (10 \times 1) + (10 \times 5) \\ &= 100 + 60 + 60 + 60 + 10 + 50 \\ &= 340 \end{aligned}$$

La *WS* total de 340 se compara con las calificaciones ponderadas totales para otros sitios que se evalúen.

Aplicación del método de carga-distancia

En el proceso sistemático de selección, el analista debe identificar posibles localizaciones atractivas y compararlas con base en los factores cuantitativos. El método de carga-distancia es una manera de facilitar este paso. Funciona en forma muy parecida a lo que hace el método de peso-distancia al diseñar disposiciones de planta para procesos divergentes (vea el capítulo 3, "Estrategia de procesos"), en el cual las cargas representan los pesos. Varios factores de localización tienen una relación directa con la distancia: cercanía con los mercados, distancia promedio con los clientes meta, proximidad con los proveedores y recursos y cercanía con otras instalaciones de la compañía. El **método de carga-distancia** es un modelo matemático utilizado para evaluar ubicaciones, basado en factores de proximidad. El objetivo es seleccionar un lugar que minimice la suma de las cargas multiplicadas por la distancia recorrida por ellas. Se utiliza el tiempo en lugar de la distancia, si se desea.

método de carga-distancia
Modelo matemático utilizado para evaluar ubicaciones, basado en factores de proximidad.

Cálculo de una calificación carga-distancia Suponga que una empresa que planea una nueva ubicación desea seleccionar un sitio que minimice las distancias que deben recorrer las cargas, en particular las grandes, desde y hacia el sitio. Dependiendo de la industria, una *carga* puede ser envíos de los proveedores, envíos entre plantas o a los clientes, o bien, clientes o empleados que viajan desde y hacia la instalación. La empresa busca minimizar su calificación carga-distancia (*ld*), generalmente eligiendo un lugar que asegure una distancia corta a las cargas.

Para calcular la calificación *ld* para cualquier localización potencial, utilizamos la distancia real entre cualesquiera dos puntos usando el sistema GIS y simplemente multiplicamos las cargas que fluyen desde y hacia la instalación, por las distancias recorridas. De manera alternativa, la distancia rectilínea o euclidiana como se calcula en el capítulo 3, "Estrategia de procesos", también se puede usar como aproximación para la distancia en los ejes de coordenadas x y y. El tiempo de viaje, en millas reales o las distancias rectilíneas cuando se aplica un enfoque de malla, también son medidas apropiadas para la distancia. La fórmula para la calificación *ld* es:

$$ld = \sum_i l_i d_i$$

Estas cargas se expresan como el número de clientes potenciales que necesitan presencia física en una instalación de servicio; las cargas pueden ser toneladas o viajes por semana para una instalación de manufactura. La calificación es la suma de estos productos carga-distancia. Al seleccionar una nueva ubicación con base en las calificaciones *ld*, el servicio a clientes mejora o los costos de transporte se reducen.

La meta es encontrar una localización aceptable para la instalación que minimice la calificación, donde la localización se define por sus coordenadas x y y o la longitud y latitud. Las consideraciones prácticas rara vez permiten a los administradores elegir la ubicación exacta con la calificación más baja posible. Por ejemplo, quizá ahí no haya terrenos disponibles a un precio razonable o algún otro factor puede hacerla indeseable.

Centro de gravedad Probar distintas localizaciones con el modelo de carga-distancia es relativamente sencillo si se sigue algún proceso sistemático de búsqueda. El **centro de gravedad** es un buen punto de partida para evaluar lugares en el área meta con el método de carga-distancia. El primer paso es determinar las coordenadas x y y de los lugares, ya sea en forma de su longitud y latitud, o de una malla (x, y), como se usó en los planos de construcción en el capítulo 3, "Estrategia de procesos". La coordenada x del centro de gravedad, denotada por x^*, se encuentra multiplicando cada coordenada x de los puntos (longitud de la ubicación o coordenada x en la malla), por su carga (l_i), sumando estos productos ($\sum l_i x_i$) y luego dividiendo entre la suma de las cargas ($\sum l_i$). La coordenada y del centro de gravedad (latitud o coordenada y en la malla), denotada por y^*, se encuentra de la misma manera. Las fórmulas son las siguientes:

centro de gravedad
Un buen punto de inicio para evaluar localizaciones en el área meta utilizando el modelo de carga-distancia.

$$x^* = \frac{\sum_i l_i x_i}{\sum_i l_i} \quad \text{y} \quad y^* = \frac{\sum_i l_i y_i}{\sum_i l_i}$$

En general, esta localización no es óptima para las medidas de distancia, pero es un excelente punto de partida. Se pueden calcular las calificaciones de carga-distancia para los lugares en su vecindad hasta que la solución sea cercana a la óptima.

EJEMPLO 11.2 Cálculo del centro de gravedad para un proveedor de energía eléctrica

MyOMLab
El tutor 11.2 en MyOMLab proporciona otro ejemplo de cómo calcular el centro de gravedad.

Un proveedor para la industria de energía eléctrica produce generadores de energía; los costos de transporte son altos. Un área de mercado incluye la parte baja de la región de los Grandes Lagos y la parte alta de la región sureste. Debe enviar más de 600,000 toneladas a las localizaciones de ocho clientes principales, como se muestra a continuación:

Localización del cliente	Toneladas enviadas	Coordenadas *x* y *y*
Three Rivers, MI	5,000	(7, 13)
Fort Wayne, IN	92,000	(8, 12)
Columbus, OH	70,000	(11, 10)
Ashland, KY	35,000	(11, 7)
Kingsport, TN	9,000	(12, 4)
Akron, OH	227,000	(13, 11)
Wheeling, WV	16,000	(14, 10)
Roanoke, VA	153,000	(15, 5)

¿Cuál es el centro de gravedad para el proveedor de servicios de electricidad? Utilice la distancia rectilínea: ¿cuál es la calificación resultante de esta ubicación?

SOLUCIÓN
El centro de gravedad se calcula (con toneladas enviadas en miles) como se muestra:

$$\sum_i l_i = 5 + 92 + 70 + 35 + 9 + 227 + 16 + 153 = 607$$

$$\sum_i l_i x_i = 5(7) + 92(8) + 70(11) + 35(11) + 9(12) + 227(13) + 16(14) + 153(15)$$

$$= 7{,}504$$

$$x^* = \frac{\sum_i l_i x_i}{\sum_i l_i} = \frac{7{,}504}{607} = 12.4$$

$$\sum_i l_i x_i = 5(13) + 92(12) + 70(10) + 35(7) + 9(4) + 227(11) + 16(10) + 153(5) = 5{,}572$$

$$y^* = \frac{\sum_i l_i y_i}{\sum_i l_i} = \frac{5{,}572}{607} = 9.2$$

La calificación de carga-distancia que resulta es:

$$id = \sum_i l_i d_i = 5(5.4 + 3.8) + 92(4.4 + 2.8) + 70(1.4 + 0.8) + 35(1.4 + 2.2)$$
$$+ 9(0.4 + 5.2) + 227(0.6 + 1.8) + 16(1.6 + 0.8) + 153(2.6 + 4.2)$$
$$= 2{,}662.4$$

Donde:

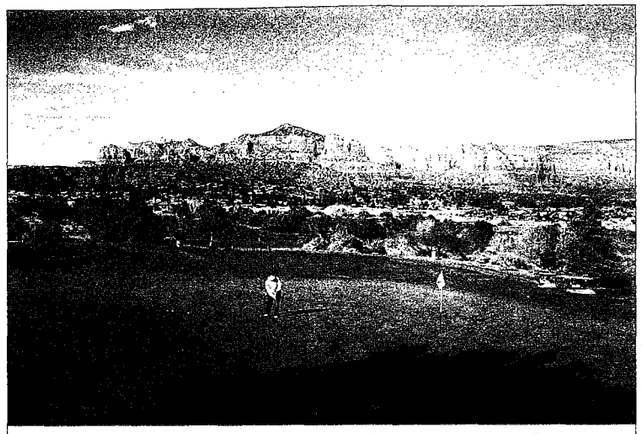
$$d_i = |x_i - x^*| + |y_i - y^*|$$

PUNTO DE DECISIÓN
El centro de gravedad es (12.4, 9.2) y la calificación de carga-distancia es 2,662,400. El problema resuelto 3 al final de este capítulo ilustra el uso de la latitud y longitud, en lugar de la malla de coordenadas para encontrar el centro de gravedad.

Utilización del análisis de punto de equilibrio

El análisis de punto de equilibrio ayuda al administrador a comparar localizaciones alternativas con base en factores cuantitativos que se pueden expresar en términos de *costo total* (vea el *suplemento A, "Toma de decisiones"*). Esto es particularmente útil cuando el administrador quiere definir los intervalos para los cuales cada alternativa es mejor. Los pasos básicos son los siguientes:

1. Determinar los costos variables y los costos fijos para cada sitio. Recuerde que los *costos variables* son la porción del costo total que varia directamente con el volumen de salida. Recuerde que los *costos fijos* son la porción del costo total que permanece constante sin importar los niveles de salida.
2. Graficar las líneas de costo total —suma de costos variables y fijos— para todos los sitios en una sola gráfica (encuentre ayuda en los tutores A.1 y A.2 en OM Explorer).
3. Identificar los intervalos aproximados para los cuales cada ubicación tiene el menor costo.
4. Despeje algebraicamente los puntos de equilibrio en los intervalos relevantes.


Chad Ehlers/Alamy

Campo de golf, Ridge Golf Course en Sedona, Arizona. Amazon.com y Target anunciaron que abrirían centros de apoyo en Arizona, en parte debido a la disponibilidad de bienes raíces a precio accesible.

EJEMPLO 11.3 Análisis de punto de equilibrio para localización

Un administrador de operaciones redujo la búsqueda de una nueva localización para una instalación a cuatro comunidades. Los costos fijos anuales (terreno, impuestos a la propiedad, seguros, equipo y presupuestos) y los costos variables anuales (mano de obra, materiales, transporte y gastos generales variables) son los siguientes:

Comunidad	Costos fijos por año	Costos variables por unidad
A	$150,000	$62
B	$300,000	$38
C	$500,000	$24
D	$600,000	$30

MyOMLab
El modelo activo 11.1 en MyOMLab proporciona más información para definir los tres intervalos relevantes en este ejemplo.

MyOMLab
El tutor 11.3 en MyOMLab proporciona otro ejemplo para practicar el análisis de punto de equilibrio para *decisiones de localización.*

Paso 1: Graficar las curvas de costo total para todas las comunidades en una sola gráfica. Identificar en la gráfica los intervalos aproximados en los que cada comunidad da el menor costo.

Paso 2: Aplicar el análisis de punto de equilibrio, calcular los puntos de equilibrio en los intervalos relevantes. Si la demanda esperada es 15,000 unidades por año, ¿cuál es la mejor ubicación?

SOLUCIÓN
Paso 1: Para graficar la línea de costo total de una comunidad, primero calcule el costo total para dos niveles de salida: $Q = 0$ y $Q = 20{,}000$ unidades por año. Para el nivel $Q = 0$, el costo total es el costo fijo. Para el nivel $Q = 20{,}000$, el costo total (costos fijos más variables) es el que sigue:

Comunidad	Costos fijos	COSTOS VARIABLES (Costo por unidad) (núm. de unidades)	COSTO TOTAL (Fijos + variables)
A	$150,000	$62(20,000) = $1,240,000	$1,390,000
B	$300,000	$38(20,000) = $ 760,000	$1,060,000
C	$500,000	$24(20,000) = $ 480,000	$980,000
D	$600,000	$30(20,000) = $ 600,000	$1,200,000

La figura 11.1 muestra la gráfica de las líneas de costo total. La línea para la comunidad A va de (0, 150) a (20, 1,390). La gráfica indica que la comunidad A es la mejor para volúmenes bajos, B para volúmenes intermedios y C para volúmenes altos. Ya no debe considerarse la comunidad D, porque sus costos fijos y sus costos variables son más altos que los de la comunidad C.

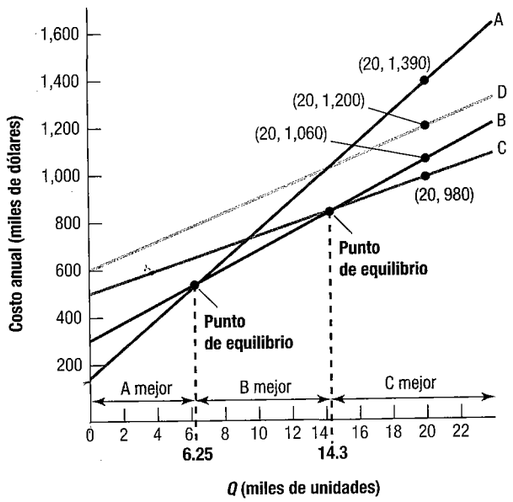


FIGURA 11.1 ▲
Análisis de punto de equilibrio para cuatro ubicaciones candidatas

Paso 2: El punto de equilibrio entre A y B está al final del primer intervalo, donde A es mejor, y el inicio del segundo, donde B es mejor. Lo encontramos igualando las ecuaciones de costo de ambas comunidades y resolviendo:

(A)	(B)
$150,000 + $62Q = $300,000 + $38Q	
Q = 6,250 unidades	

El punto de equilibrio entre B y C está al final del intervalo en el que B es mejor y el inicio de último intervalo en el que C es mejor:

(B)	(C)
$30,000 + $38Q = $500,000 + $24Q	
Q =14,286 unidades	

No se necesitan otros puntos de equilibrio. El punto de equilibrio entre A y C está arriba del área sombreada, que no marca el inicio o el final de uno de los tres intervalos relevantes.

PUNTO DE DECISIÓN

La administración ubicó la nueva instalación en la comunidad C, porque el pronóstico de la demanda de 15,000 unidades por año está en el intervalo de alto volumen. Estos resultados también se pueden usar como información para la decisión final en una matriz de preferencias, donde se incorporan otros factores no cuantitativos en el proceso de toma de decisiones.

Localización de una instalación dentro de una red de cadenas de suministro

Cuando una empresa con una red de instalaciones existente planea una nueva instalación, existe una de dos condiciones: **1.** las instalaciones operan de manera independiente (los ejemplos incluyen una cadena de restaurantes, clínicas de salud, bancos o tiendas) o **2.** las instalaciones interactúan (los ejemplos incluyen plantas de manufactura de componentes, plantas de ensamblaje y almacenes). La localización de unidades con operación independiente se puede manejar cada una como una sola instalación separada, como se describió en la sección anterior. La práctica administrativa 11.2 muestra cómo la expansión industrial de General Electric en India requirió que se pensara en la localización de varias plantas en diferentes industrias en un país geográficamente diverso, al igual que en una sola planta que serviría a diferentes negocios.

Moe's Grill

El 12 de marzo de 2007, Raving Brands, dueño de Moe's Southwest Grill, anunció que había llegado a acuerdos de desarrollo para Medio Oriente, Singapur y Canadá. De acuerdo con el anuncio, estos tres tratos independientes dieron como resultado 150 restaurantes. Después Moe's determinó las localizaciones específicas para estas instalaciones múltiples.

Localizar instalaciones que interactúan introduce nuevos aspectos, entre ellos, cómo asignar el trabajo entre las instalaciones y cómo determinar la mejor capacidad para cada una. Además, las instalaciones quizás estén dispersas en varios países en el mundo con proveedores en Asia, plantas de manufactura en América Latina y almacenes de distribución en Europa y Estado Unidos. Cambiar las asignaciones de trabajo, a su vez, afecta el tamaño (o la utilización de la capacidad) de varias instalaciones. Entonces, el problema de localizar múltiples instalaciones tiene tres dimensiones —localización, asignación y capacidad— que deben resolverse al mismo tiempo. En muchos casos, el analista puede identificar una solución que funcione con solo ver los patrones de costo, demanda y datos de capacidad utilizando cálculos por prueba y error. En otros casos, se necesitan enfoques más formales.

PRÁCTICA ADMINISTRATIVA 11.2 Expansión de General Electric en India

General Electric (GE) es un conglomerado diversificado global en infraestructura, finanzas y medios, con presencia en electrodomésticos, aviación, productos al consumidor, distribución de electricidad, energía, alumbrado e industria ferrocarrilera, entre otros. Con ingresos de cerca de 150 mil millones y fuerza de trabajo mundial de 280,000 empleados, GE es una de las empresas más grandes en el mundo. El sector de infraestructura de India y las industrias como energía, aviación y cuidado de la salud son particularmente atractivas para GE, en especial desde que planea generar más de 60% de sus ingresos fuera de Estados Unidos con un enfoque de mercados emergentes como China, Rusia, India y Brasil.

En octubre de 2010, GE recibió un contrato para suministrar motores para el jetfighter ligero de India y el mismo mes ganó un contrato de Reliance Power, Ltd, de India, para entregar $750 millones de equipos de turbinas para una expansión de 2,400 megawats de la planta de energía de Samalkot en el sur del estado de Andhra Pradesh. También formó una inversión conjunta con Triveni Engineering and Industries, Ltd. para hacer turbinas de vapor y otra inversión conjunta para desarrollar software para el cuidado de la salud con Wipro. Para hacer posible la expansión en India para sus productos y servicios, GE anunció planes en marzo de 2011 para invertir $50 millones para construir una fábrica en India. Esta planta comenzaría en 400,000 pies cuadrados y con el tiempo se expandiría a 70,000 pies cuadrados. El señor John Flannery, presidente y director ejecutivo de GE India, definió a esta instalación propuesta como una "instalación mutimodal multinegocio que varios negocios de GE compartirán". Determinar la localización de esta planta multinegocios es una tarea bastante compleja y semejante a ubicar una instalación dentro de una red de instalaciones. Debe tomarse en consideración las distintas instalaciones para diferentes negocios a los que esta servirá, *así como las diversas cadenas de suministro con las que deberá interactuar.* Las plantas GE del futuro en el subcontinente tendrían que determinar sus localizaciones de manera similar para apoyar estratégicamente a múltiples capacidades de negocios de manufactura en India, en particular, conforme la producción nacional se expanda a través de un rango de industrias y las inversiones de GE en India crezcan potencialmente a 200 millones y más.

Tom Bible/Alamy

Trabajadores ensamblando una máquina ultraescáner en General Electric Wipro en Bangalore, India.

Fuente: Santanu Chowdhury. "GE Plans Multiuse Factory in India". *Wall Street Journal* (14 de marzo, 2011); **http://www.ge.com/products_services/index.html**. 23 de mayo, 2011.

Método GIS para localizar múltiples instalaciones

Las herramientas de GIS ayudan a visualizar localizaciones de clientes y datos, al igual que la estructura de transporte de caminos y carreteras interestatales. Estas capacidades permiten al analista llegar con rapidez a una solución razonable para los problemas de localización de varias instalaciones. La calificación carga-distancia y los datos del centro de gravedad se pueden unir con las bases de datos de clientes en Excel para llegar a localizaciones de prueba para las instalaciones, que luego se evalúen en cuanto a tiempo de manejo o distancia utilizando un GIS como MapPoint y Excel. Se describe un marco de trabajo de cinco pasos que capta el uso de GIS para ubicar varias instalaciones:

1. Mapear los datos de clientes e instalaciones existentes en GIS.
2. Dividir visualmente toda el área de operación en el número de partes o subregiones que corresponde al número de instalaciones a localizar.
3. Asignar una localización de instalación para cada región basada en la densidad visual de concentración de clientes u otros factores. De otra manera, determinar el centro de gravedad para cada parte o subregión identificada en el paso 2 como el punto de localización inicial para la instalación en esa subregión.
4. Buscar sitios alternativos alrededor del centro de gravedad para elegir una localización factible que cumpla los criterios de la administración, como aspectos ambientales, disponibilidad de áreas metropolitanas importantes o proximidad a carreteras.
5. Calcular las calificaciones de carga-distancia total y realizar la verificación de capacidad antes de finalizar la localización para cada región.

Este enfoque puede tener muchas aplicaciones, incluyendo el diseño de las redes de distribución de la cadena de suministro como se ilustra en el video de MyOMLab de Witherspoon Automotive.

MyOMLab

Método de transporte

El **método de transporte para problemas de localización** es un enfoque cuantitativo que puede ayudar a resolver problemas de localización de múltiples instalaciones. Se utiliza aquí para determinar el patrón de asignación que minimiza el costo de enviar productos de dos o más plantas, o *fuentes de suministro*, a dos o más almacenes, o *destinos*. Nos centramos en la preparación e

método de transporte para problemas de localización
Enfoque cuantitativo que ayuda a resolver problemas de localización de múltiples instalaciones.

interpretación del problema, dejando el resto del proceso de solución a un paquete de software en una computadora como POM para Windows. Un desarrollo más completo de este problema se encuentra en el suplemento D, "Programación lineal", y en libros de texto que cubran métodos cuantitativos y ciencias de la administración.

El método de transporte no resuelve *todas* las facetas del problema de localización de múltiples instalaciones, solo encuentra el *mejor* patrón de envío entre plantas y almacenes para un conjunto dado de localizaciones de plantas, cada una con una capacidad específica. El analista debe intentar una variedad de combinaciones de localización-capacidad y utilizar el método de transporte para encontrar la distribución óptima para cada una. La distribución de costos (costos variables de envío y tal vez de producción) son solo un conjunto de datos importante al evaluar una combinación localización-asignación particular. Los costos de inversión y otros costos fijos también deben considerarse, junto a varios factores cualitativos. Este análisis completo debe hacerse para cada combinación razonable de localización-capacidad. Debido a la importancia de tomar una buena decisión, este esfuerzo adicional bien vale su costo.

Preparación de la tabla inicial El primer paso para resolver un problema de transporte es ponerlo en el formato de una matriz estándar, algunas veces llamada *tableau*. Los pasos básicos para establecer la tabla inicial son los siguientes:

1. Crear un renglón por cada planta (existente o nueva) que se considera y una columna por cada almacén.
2. Agregar una columna para las capacidades de planta y un renglón para las demandas de los almacenes e insertar sus valores numéricos específicos.
3. Cada celda que no está en el renglón de requerimientos o en la columna de capacidades representa una ruta de envío de una planta a un almacén. Inserte los costos unitarios en la esquina superior derecha de cada una de estas celdas.

Sunbelt Pool Company está considerando construir una nueva planta de 500 unidades, pues el negocio está en auge. Una posible localización es Atlanta. La figura 11.2 muestra una tabla con sus capacidades de planta, requerimientos de almacén y costos de envío. La tabla muestra, por ejemplo, que enviar una unidad de la planta existente de Phoenix al almacén 1 en San Antonio, Texas, cuesta $5.00. Se supone que los costos aumentan linealmente con el tamaño del envío; es decir, el costo es el mismo *por unidad* sin importar el tamaño del envío total.

Planta	Almacén			Capacidad
	San Antonio, TX (1)	Hot Springs, AR (2)	Sioux Falls, SD (3)	
Phoenix	5.00	6.00	5.40	400
Atlanta	7.00	4.60	6.60	500
Requerimientos	200	400	300	900 / 900

FIGURA 11.2 ▲
Tabla inicial

En el método de transporte, la suma de los envíos en un renglón debe ser igual a las capacidades de planta correspondientes. Por ejemplo, en la figura 11.2, los envíos totales de la planta de Atlanta a los almacenes 1, 2 y 3 localizadas en San Antonio, Texas, Hot Springs, Arkansas y Sioux Falls, Dakota del Sur, respectivamente, debe sumar 500. De manera similar, la suma de los envíos en una columna debe ser igual a los requerimientos del almacén correspondiente. Así, los envíos al almacén 1 en San Antonio, Texas, desde Phoenix y Atlanta suman 200 unidades.

Plantas y almacenes ficticios El método del transporte requiere también que la suma de las capacidades sea igual a la suma de las demandas, los cual ocurre en el ejemplo con 900 unidades (véase la figura 11.2). En muchos problemas reales, la capacidad total excede los requerimientos o viceversa. Si la capacidad excede a los requerimientos por r unidades, agregamos una columna adicional (un *almacén ficticio*) con demanda de r unidades y costos de envío de $0 en las celdas creadas. Los envíos en realidad no se hacen, de manera que representan la capacidad de la planta que no se usa. De manera similar, si los requerimientos exceden a la capacidad por r unidades, agregamos un renglón adicional (una *planta ficticia*) con una capacidad de r unidades. Asignamos costos de envío iguales a los costos de faltantes de las nuevas celdas. Si los costos de faltantes no se conocen o son los mismos para todos los almacenes, simplemente se asignan costos de envío de $0 por unidad en cada celda del renglón ficticio. La solución óptima no se verá afectada ya que la escasez de r unidades se requiere en todos los casos. Agregar un almacén ficticio o una planta ficticia asegura que la suma de las capacidades sea igual a la suma de las demandas. Algunos paquetes de software, como POM para Windows, los agregan automáticamente cuando se ingresan los datos.

Cómo encontrar una solución Una vez preparada la tabla inicial, la meta es encontrar el patrón de asignación que satisface todas las demandas y agota todas las capacidades. Este patrón se encuentra con el método de transporte, que garantiza la solución óptima. La tabla inicial se llena con una solución factible que satisface todas las demandas de los almacenes y agota todas las capacidades de planta. Luego se crea una nueva tabla, se define una nueva solución con el costo total menor. Este proceso reiterativo continúa hasta que la solución actual no se puede mejorar, lo que indica que se ha encontrado la solución óptima. Cuando se usa un paquete de computadora, todo lo que se tiene que hacer es ingresar la información para la tabla inicial.

Otro procedimiento es el método símplex (vea el suplemento D, "Programación lineal"), aunque se requieren más datos de entrada. El problema de transporte en realidad es un caso especial de programación lineal, que se puede modelar con una variable de decisión por cada celda en la tabla, una restricción por cada renglón en la tabla (que requiere que la capacidad de cada planta se utilice por completo) y una restricción por cada columna (que requiere que se satisfaga la demanda en cada almacén exactamente).

Cualquiera que sea el método que se utilice, el número de envíos diferentes de cero en la solución óptima nunca excederá la suma de los números de las plantas y los almacenes menos 1. La compañía Sunbelt Pool tiene dos plantas y tres almacenes, de manera que necesita no haber más de cuatro envíos (o 3 + 2 – 1) en la solución óptima.

EJEMPLO 11.4 Interpretación de la solución óptima

La solución óptima para Sunbelt Pool Company, encontrada con POM para Windows, se muestra en la figura 11.3. La figura 11.3 *a*) despliega los datos de entrada, donde las celdas muestran los costos unitarios, el último renglón muestra las demandas y la última columna contiene las capacidades de suministro. La figura 11.3 *b*) muestra cómo la red existente de plantas suministra los tres almacenes minimizando el costo por un total de $4,580. Verifique que la capacidad de cada planta se agota y que la demanda de cada almacén se satisface. Por último, la figura 11.3 *c*) muestra la cantidad total y el costo de cada envío. El costo total óptimo reportado en la esquina superior izquierda de la figura 11.3 *b*) es $4,580 o 200 ($5.00) + 200 ($5.40) + 400 ($4.60) + 100 ($6.60) = $4.580.

▼ FIGURA 11.3
Pantallas de POM para Windows para Sunbelt Pool Company

Figura 11.3 *a*) Datos de entrada

	San Antonio	Hot Springs	Sioux Falls	SUMINISTRO
Phoenix	5	6	5.4	400
Atlanta	7	4.6	6.6	500
DEMANDA	200	400	300	

Figura 11.3 *b*) Patrón de envío óptimo

Costo óptimo = $4580	San Antonio	Hot Springs	Sioux Falls
Phoenix	200		200
Atlanta		400	100

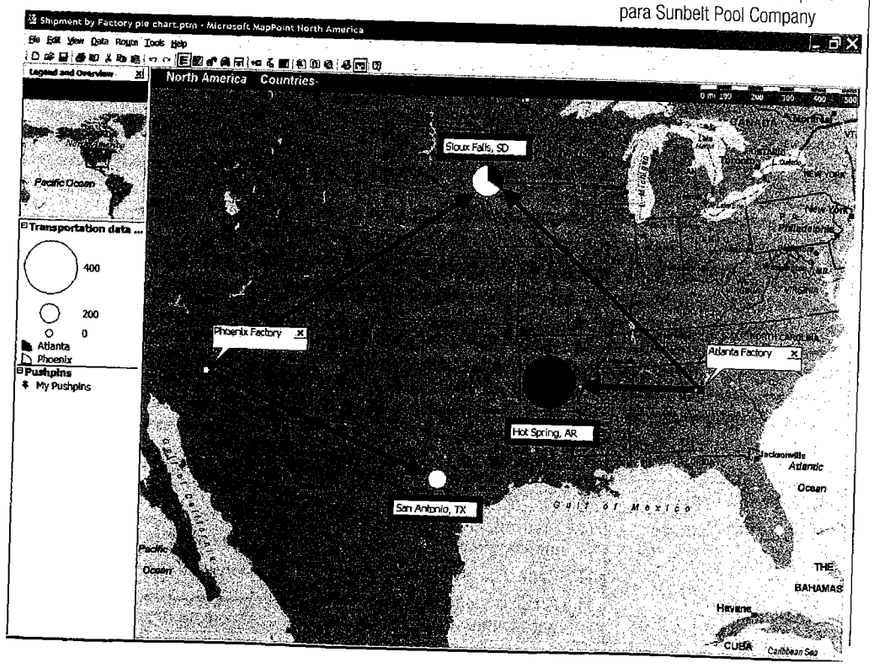
Figura 11.3 *c*) Desglose de costos

	San Antonio	Hot Springs	Sioux Falls
Phoenix	200/$1000		200/$1080
Atlanta		400/$1840	100/$660

SOLUCIÓN

La figura 11.4 es un mapa creado con el software MapPoint que muestra la forma en que las plantas suministran a los tres almacenes. La planta de Phoenix y sus envíos están representados en gris oscuro y la planta de Atlanta y sus envíos en gris claro. El tamaño de los círculos para los tres almacenes representa sus capacidades y cuánto de esa capacidad es suministrado por cuál planta. Por ejemplo, Phoenix envía 200 unidades al almacén 1 en San Antonio y 200 unidades al almacén 3 en Sioux Falls, agotando toda su capacidad de 400 unidades. Atlanta envía 400 unidades de su capacidad de 500 al almacén 2 en Hot Springs, Arkansas, y las 100 unidades restantes al almacén 3 en Sioux Falls, Dakota del Sur. Toda la demanda de los almacenes se satisface: el almacén 1 en San Antonio, Texas, obtiene todo su suministro de Phoenix y el almacén 2 en Hot Springs, Arkansas de Atlanta. El almacén 3 en Sioux Falls, Dakota del Sur recibe 200 unidades

▼ FIGURA 11.4
Solución óptima del transporte para Sunbelt Pool Company



de Phoenix y 100 unidades de Atlanta, satisfaciendo su demanda de 300 unidades. El costo total de transporte es 200 ($5.00) + 200 ($5.40) + 400 ($4.60) + 100 ($6.60) = $4,580.

PUNTO DE DECISIÓN

La administración evalúa otras localizaciones antes de decidir cuál es la mejor. La solución óptima no necesariamente significa que la mejor opción sea abrir una planta en Atlanta. Solo significa que el mejor patrón de asignación para las opciones actuales en las otras dos dimensiones de este problema de localización de instalaciones múltiples (es decir, una capacidad de 400 unidades en Phoenix y la nueva planta ubicada en Atlanta) da como resultado costos totales de transporte de $4,580.

Proceso de solución largo Pueden considerarse también otros costos y diferentes factores cualitativos como partes adicionales de una evaluación completa. Por ejemplo, las ganancias anuales por la expansión deben balancearse contra los costos de terreno y construcción de una nueva planta en Atlanta. Entonces, la administración utiliza el enfoque de la matriz de preferencias (véase el ejemplo 11.1) para considerar el conjunto completo de factores.

El analista debe evaluar también las combinaciones de capacidad y ubicación. Por ejemplo, una posibilidad es una expansión en Phoenix y construir una planta menor en Atlanta. De otra manera, puede construirse una nueva planta en otro lugar o varias nuevas plantas. El analista debe repetir el análisis para cada una de estas estrategias de localización.

REPASO DE LAS METAS DE APRENDIZAJE

1. **Explicar la manera en que las decisiones de localización se relacionan con el diseño de la cadena de suministro.** Revise la viñeta de apertura sobre BMW, la presentación subsecuente del impacto de las decisiones de localización en el negocio central y los procesos de la cadena de suministro, y la sección "Decisiones de localización en toda la organización", p. 387.
2. **Identificar los factores que afectan las opciones de localización**. Véase la sección "Factores que afectan las decisiones de localización", pp. 387-390. Centre la atención en comprender las diferencias clave entre localizar una planta de manufactura contra instalaciones de servicio.
3. **Comprender el papel de los sistemas de información geográfica en la toma de decisiones de localización**. La sección "Sistema de información geográfica y decisiones de localización", pp. 390-391 y la práctica administrativa 11.1 muestran cómo utilizan las empresas los paquetes de software GIS para tomar decisiones de localización impulsadas por datos demográficos que son tan baratos como efectivos al considerar varias variables de decisión al mismo tiempo.
4. **Comprender las técnicas de localización de una sola instalación**. La sección "Localización de una instalación", pp. 391-396, presenta cómo se puede utilizar el método de carga-distancia, el centro de gravedad y el análisis de punto de equilibrio para encontrar una localización de manera sencilla y fácil.
5. **Comprender los métodos de localización de instalaciones múltiples**. La sección "Localización de una instalación dentro de una red de cadenas de suministro", pp. 396-400, muestra la forma en que se puede aplicar el método de transporte para minimizar los costos de producción y distribución en una red de suministros caracterizada por múltiples plantas y almacenes.

MyOMLab le ayuda a desarrollar habilidades analíticas y a evaluar su avance con problemas de calificaciones ponderadas, matriz de preferencias, punto de equilibrio, distancia rectilínea y euclidiana, centro de gravedad y modelo de carga-distancia.

Recursos de MyOMLab	Títulos	Vínculos con el libro
Ejercicio de modelo activo	11.1 Análisis de punto de equilibrio para localización	Aplicación del análisis de punto de equilibrio; ejemplo 11.3 (p. 395); problema resuelto 2 (p. 403)
	11.2 Centro de gravedad	Centro de gravedad; ejemplo 11.2 (p. 394); problema resuelto 3 (p. 403)
Solvers de OM Explorer	Centro de gravedad	*Centro de gravedad; ejemplo 11.2 (p. 394); problema resuelto 3 (p. 403)*
Tutores de OM Explorer	11.1 Matriz de preferencias para localización	Localización de una instalación; ejemplo 11.1 (p. 392); problema resuelto 1 (p. 402)
	11.2 Centro de gravedad	Centro de gravedad; ejemplo 11.2 (p. 394); problema resuelto 3 (p. 403)
	11.3 Análisis de punto de equilibrio para localización	Aplicación del análisis de punto de equilibrio; ejemplo 11.3 (p. 395); problema resuelto 2 (p. 403)

Recursos de MyOMLab	Títulos	Vínculos con el libro
POM para Windows	Método de transporte (localización)	Factores que afectan las decisiones de localización; Método GIS para localizar múltiples instalaciones; ejemplo 11.4 (p. 399); problema resuelto 4 (p. 405)
	Método de ponderación	Factores que afectan las decisiones de localización; Localización de una instalación dentro de una red de cadenas de suministro
	Sitios en dos dimensiones	Factores que afectan las decisiones de localización; Localización de una instalación dentro de una red de cadenas de suministro
	Análisis costo-volumen	Factores que afectan las decisiones de localización
Ejercicios de tutor	11.1 Centro de gravedad	*Centro de gravedad; ejemplo 11.2 (p. 394); problema resuelto 3 (p. 403)*
	11.2 Cambios de costos en Able and Charlie	Aplicación del análisis de punto de equilibrio; ejemplo 11.3 (p. 395); problema resuelto 2 (p. 403)
Videos de MapPoint	Starbucks	Factores que afectan las decisiones de localización
	Witherspoon Automotive	*Localización de instalaciones dentro de una cadena de suministro*
	Tyler EMS	Factores que afectan las decisiones de localización
Tours virtuales	McCadam Cheese Company	Factores que afectan las decisiones de localización
	Jack Daniels Distillery Tour	Factores que afectan las decisiones de localización
Suplementos de MyOMLab	F. Financial Analysis	Suplemento F de MyOMLab
Ejercicio en Internet	Dunkin Donuts	Factores que afectan las decisiones de localización
	MapQuest	Factores que afectan las decisiones de localización
	Expedia	Factores en Expedia que afectan las decisiones de localización
	Yahoo	Factores que afectan las decisiones de localización
	US Census Bureau	Factores que afectan las decisiones de localización
Ecuaciones clave		
Biblioteca de imágenes		

Ecuaciones clave

1. Calificación de carga-distancia: $ld = \sum_i l_i d_i$
2. Centro de gravedad: $x^* = \dfrac{\sum_i l_i x_i}{\sum_i l_i}$ y $y^* = \dfrac{\sum_i l_i y_i}{\sum_i l_i}$

Términos clave

calidad de vida 389
centro de distribución 387
centro de gravedad 393
localización de la instalación 387
masa crítica 390
método de carga-distancia 393
método de transporte para problemas de localización 397
sistema de información geográfica (GIS) 390

Problema resuelto 1

Un fabricante de electrónicos debe expandirse construyendo una segunda instalación. La búsqueda se ha reducido a cuatro lugares, todos son aceptables para la administración en términos de factores dominantes. La evaluación de estos sitios en términos de siete factores de localización se muestra en la tabla 11.1. Por ejemplo, la localización A tiene una calificación de 5 (excelente) para el factor ambiente laboral; el peso para este factor (20) es el más alto.

Calcule la calificación ponderada de cada ubicación. ¿Qué ubicación debe recomendarse?

SOLUCIÓN

Con base en las calificaciones ponderadas mostradas en la tabla 11.2, la localización C es el sitio preferido, aunque la localización B tiene un segundo lugar cercano.

TABLA 11.1 | INFORMACIÓN DE FACTORES PARA EL FABRICANTE DE ELECTRÓNICOS

Factor de localización	Peso del factor	Calificación del factor para cada localización			
		A	B	C	D
1. Ambiente laboral	20	5	4	4	5
2. Calidad de vida	16	2	3	4	1
3. Sistema de transporte	16	3	4	3	2
4. Proximidad a los mercados	14	5	3	4	4
5. Proximidad a materiales	12	2	3	3	4
6. Impuestos	12	2	5	5	4
7. Servicios públicos	10	5	4	3	3

TABLA 11.2 | CÁLCULO DE CALIFICACIONES PONDERADAS PARA EL FABRICANTE DE ELECTRÓNICOS

Factor de localización	Peso del factor	Calificación ponderada de cada localización			
		A	B	C	D
1. Ambiente laboral	20	100	80	80	100
2. Calidad de vida	16	32	48	64	16
3. Sistema de transporte	16	48	64	48	32
4. Proximidad a los mercados	14	70	42	56	56
5. Proximidad a materiales	12	24	36	36	48
6. Impuestos	12	24	60	60	48
7. Servicios públicos	10	50	40	30	30
Totales	100	348	370	374	330

Problema resuelto 2

El administrador de operaciones para Mile-High Lemonade redujo la búsqueda de la localización de una nueva instalación a siete comunidades. Los costos fijos anuales (terreno, impuestos de propiedad, seguros, equipo y edificios) y costos variables (mano de obra, materiales, transporte y gastos generales variables) se muestran en la tabla 11.3.

a) ¿Cuáles de las comunidades se pueden eliminar debido a que están dominadas (tanto los costos variables como los fijos son más altos) por otra comunidad?

b) Grafique las curvas de costo total para todas la comunidades restantes en una sola gráfica. Identifique en la gráfica el intervalo aproximado en el que cada comunidad proporciona el menor costo.

c) Utilizando análisis de punto de equilibrio, calcule los puntos de equilibrio para determinar los intervalos en los que cada comunidad proporciona el menor costo.

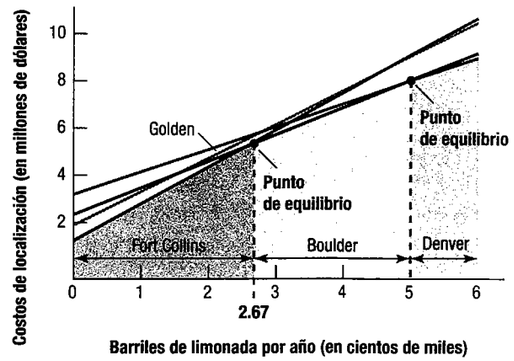
TABLA 11.3 | COSTOS FIJOS Y VARIABLES PARA MILE-HIGH LEMONADE

Comunidad	Costos fijos por año	Costos variables por barril
Aurora	$1,600,000	$17.00
Boulder	$2,000,000	$12.00
Colorado Springs	$1,500,000	$16.00
Denver	$3,000,000	$10.00
Englewood	$1,800,000	$15.00
For Collins	$1,200,000	$15.00
Golden	$1,700,000	$14.00

SOLUCIÓN

a) Aurora y Colorado Springs están dominadas por Fort Collins, porque tanto los costos fijos como los variables son más altos en esas comunidades que los de Fort Collins. Englewood está dominada por Golden.

b) La figura 11.5 muestra que Fort Collins es mejor para volúmenes bajos, Boulder para volúmenes intermedios y Denver para volúmenes altos. Aunque Golden no está dominada por ninguna comunidad, es la segunda o tercera opción en el intervalo completo. Golden no se convierte en la opción de menor costo para ningún volumen.



◀ **FIGURA 11.5** Análisis de punto de equilibrio para los cuatro candidatos para localización

c) El punto de equilibrio entre Fort Collins y Boulder es:

$$\$1{,}200{,}000 + \$15Q = 2{,}000{,}000 + \$12Q$$
$$Q = 266{,}667 \text{ barriles por año}$$

El punto de equilibrio entre Denver y Boulder es:

$$\$3{,}000{,}000 + \$10Q = \$2{,}000{,}000\ \$12Q$$
$$Q = 500{,}000 \text{ barriles por año}$$

Problema resuelto 3

La nueva instalación Health-Watch tiene la meta de servir a siete zonas censales en Erie, Pensilvania, cuyas latitudes y longitudes se muestran en la tabla 11.4, junto con la población en cada zona (en miles). Los clientes viajan de los centros de las siete zonas a la nueva instalación cuando necesitan servicios de la salud. ¿Cuál es el centro de gravedad del área para la instalación médica Health-Watch?

TABLA 11.4 | DATOS DE LOCALIZACIÓN Y CÁLCULOS PARA HEALTH-WATCH

Zona censal	Población	Latitud	Longitud	Población × latitud	Población × longitud
15	2,711	42.134	–80.041	114,225.27	–216,991.15
16	4,161	42.129	–80.023	175,298.77	–332,975.70
17	2,988	42.122	–80.055	125,860.54	–239,204.34
25	2,512	42.112	–80.066	105,785.34	–201,125.79
26	4,342	42.117	–80.052	182,872.01	–347,585.78
27	6,687	42.116	–80.023	281,629.69	–535,113.80
28	6,789	42.107	–80.051	285,864.42	–543,466.24
Total	**30,190**			**1,271,536.04**	**–2,416,462.80**

SOLUCIÓN

Despejamos el centro de gravedad x^* y y^*. Como las coordenadas están dadas por la longitud y la latitud, x^* es la longitud y y^* es la latitud para el centro de gravedad.

$$x^* = \frac{1{,}271{,}536.05}{30{,}190} = 42.1178$$

$$y^* = \frac{-2{,}416{,}462.81}{30{,}190} = 80.0418$$

El centro de gravedad es (42.12 Norte, 80.04 Oeste) y se observa en la figura 11.6 que está bastante centrada en el área meta.

El modelo activo 11.2 en MyOMLab confirma estos cálculos para el centro de gravedad y también nos permite explorar otras localizaciones alternativas

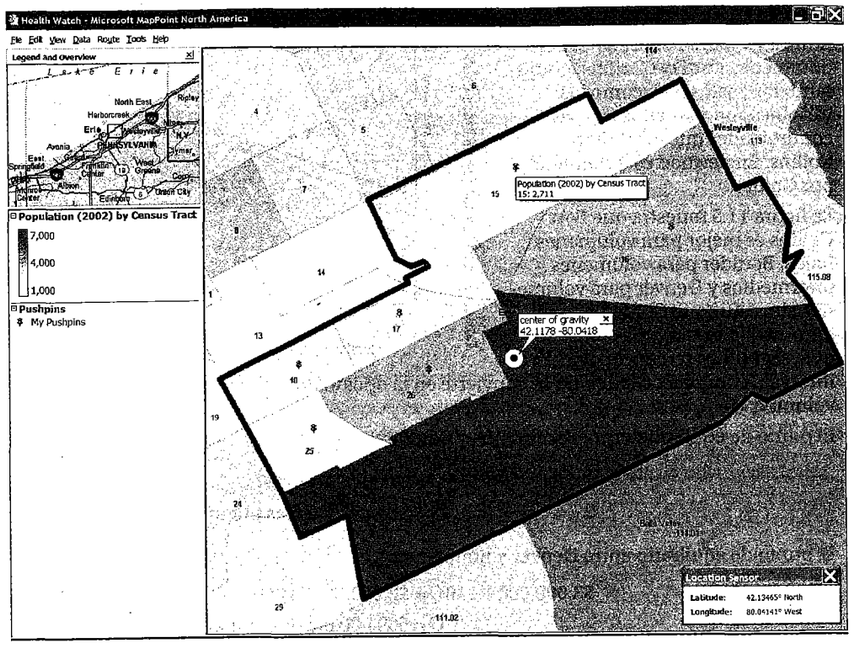


FIGURA 11.6 ▶
Centro de gravedad para Health-Watch

Problema resuelto 4

Arid Company hace remos para canoas y los envía a centros de distribución en Worchester, Rochester y Dorchester desde las plantas existentes en Battle Creek y Cherry Creek. Arid está considerando establecer una planta cerca de las cabeceras del río Dee Creek. La capacidad anual para cada planta se muestra en la columna de la derecha y la demanda anual en el renglón inferior de la tabla en la figura 11.7. Los costos de transporte por remo se encuentran en los cuadros pequeños de la tabla. Por ejemplo, el costo de enviar un remo de Battle Creek a Worchester es $4.37. Las asignaciones óptimas también se encuentran en la figura 11.7. Por ejemplo, Battle Creek envía 12,000 unidades a Rochester. ¿Cuál es el costo de transporte estimado asociado con este patrón de asignación?

Fuente	Destino			Capacidad
	Worchester	Rochester	Dorchester	
Battle Creek	$4.37	$4.25 **12,000**	$4.89	12,000
Cherry Creek	$4.00 **6,000**	$5.00 **4,000**	$5.27	10,000
Dee Creek	$4.13	$4.50 **6,000**	$3.75 **12,000**	18,000
Demanda	6,000	22,000	12,000	40,000

SOLUCIÓN
El costo total es $167,000.
Enviar 12,000 unidades de Battle Creek a Rochester a $4.25.
Enviar 6,000 unidades de Cherry Creek a Worchester a $4.00.
Enviar 4,000 unidades de Cherry Creek a Rochester a $5.00.
Enviar 6,000 unidades de Dee Creek a Rochester a $4.50.
Enviar 12,000 unidades de Dee Creek a Dorchester a $3.75.

Costo = $51,000
Costo = $24,000
Costo = $20,000
Costo = $27,000
Costo = $45,000
Total = $167,000

▲ **FIGURA 11.7**
Solución óptima para Arid Company

Preguntas para análisis

1. Divídanse en equipos. Seleccionen dos organizaciones, una de servicios y una de manufactura, conocidas por algunos de los miembros del equipo. ¿Cuáles son los factores clave que cada organización consideraría para una nueva instalación? ¿Qué datos querrían recolectar antes de evaluar las opciones de localización y cómo los recolectaría? Expliquen.
2. El propietario de un equipo de ligas mayores de béisbol está considerando mover su equipo de la ciudad actual en el norte del medio oeste a una ciudad en el sureste que ofrece un mercado televisivo mayor, un nuevo estadio y tiene potencial para un apoyo más grande de los fans. ¿Qué otro factor debe considerar el dueño antes de tomar la decisión de reubicación?

3. Una empresa en Ohio está pensando comprar una planta de un grupo de negocios regional localizada en un país del sureste asiático. El grupo de negocios que vende la planta tiene mano de obra y prácticas administrativas cuestionables, algunas de las cuales están en conflicto con las regulaciones de OSHA (Occupational Safety and Health Administration) y EPA (Environmental Protection Agency). ¿Qué factores éticos y ambientales debe la empresa estadounidense considerar antes de concretar la decisión de localización de la planta?

Problemas

El OM Explorer y POM para Windows están disponibles para todos los estudiantes de la décima edición de este libro. Vaya a **www.pearsonhighered.com/krajewski** para bajar estos paquetes de computadora. Si compró MyOMLab, también tiene acceso al software de modelos activos y mucha ayuda para resolver los problemas siguientes. Verifique con su instructor la mejor manera de usar estos recursos. En muchos casos, el instructor le pedirá que comprenda cómo se hacen los cálculos a mano. Por lo menos, el software proporciona una verificación de sus cálculos. Cuando los cálculos son muy complejos y la meta es interpretar los resultados al tomar una decisión, el software sustituye por completo los cálculos manuales.

1. Calcule la calificación ponderada para cada localización (A, B, C y D) mostrada en la tabla 11.5. ¿Qué ubicación recomendaría?
2. John y Jane Darling están recién casados e intentan decidir entre varios lugares que se rentan. Las alternativas se calificaron en una escala de 1 a 5 (5 = mejor) contra los criterios de desempeño ponderados que se muestran en la tabla 11.6. Los criterios incluyen renta, proximidad al trabajo y oportunidades recreativas, seguridad y otras características de la zona asociadas con los valores y estilo de vida de la pareja. La alternativa A es un departamento, B es un búngalo, C es un condominio y D es un departamento en el sótano de la casa de los padres de Jane. ¿Qué localización es la indicada por la matriz de preferencias? ¿Qué factores cualitativos puede ocasionar que esta preferencia cambie?
3. Se están considerando dos alternativas de localización para una nueva planta: Jackson, Mississippi y Dayton, Ohio.

TABLA 11.5 | FACTORES PARA LAS UBICACIONES A–D

Factores de localización	Peso del factor	Calificación del factor en cada lugar			
		A	B	C	D
1. Ambiente laboral	5	5	4	3	5
2. Calidad de vida	30	2	3	5	1
3. Sistema de transporte	5	3	4	3	5
4. Proximidad a los mercados	25	5	3	4	4
5. Proximidad a los materiales	5	3	2	3	5
6. Impuestos	15	2	5	5	4
7. Servicios públicos	15	5	4	2	1
Total	100				

TABLA 11.6 | FACTORES PARA LOS RECIÉN CASADOS

Factor de localización	Peso del factor	Calificación del factor en cada lugar			
		A	B	C	D
1. Renta	25	3	1	2	5
2. Calidad de vida	20	2	5	5	4
3. Escuelas	5	3	5	3	1
4. Proximidad al trabajo	10	5	3	4	3
5. Proximidad a actividades recreativas	15	4	4	5	2
6. Seguridad del área	15	2	4	4	4
7. Servicios públicos	10	4	2	3	5
Total	100				

La ubicación en Jackson es superior en términos de costos. Sin embargo, la administración piensa que el volumen de ventas declinaría si se eligiera este lugar porque está más lejos del mercado y los clientes de la empresa prefieren proveedores locales. El precio de venta del producto es $250 por unidad en cualquier caso. Utilice la siguiente información para determinar qué localización lleva a la mayor ganancia total por año:

Localización	Costo fijo anual	Costo variable por unidad	Pronóstico de la demanda anual
Jackson	$1,500,000	$50	30,000 unidades
Dayton	$2,800,000	$85	40,000 unidades

4. Fall-Line, Inc., de Great Falls, Montana, es un fabricante de una variedad de esquís. Fall-Line está estudiando cuatro lugares para una nueva planta: Aspen, Colorado; Medicine Lodge, Kansas; Broken Bow, Nebraska, y Wounded Knee, Dakota del Sur. Los costos fijos anuales y los costos variables por par de esquíes se muestran en la siguiente tabla:

Localización	Costo fijo anual	Costo variable por par
Aspen	$8,000,000	$250
Medicine Lodge	$2,400,000	$130
Broken Bow	$3,400,000	$90
Wounded Knee	$4,500,000	$65

a) Grafique las curvas de costo total para todas las comunidades en una sola gráfica (véase el problema resuelto 2). Identifique en la gráfica los intervalos de volumen en los que cada localización sería mejor.

b) ¿Qué punto de equilibrio define cada intervalo?

Aunque los costos fijos y variables de Aspen están dominados por los de otras comunidades, Fall-Line piensa que tanto la demanda como el precio serían más altos para los esquíes hechos en Aspen que para los esquís hechos en las otras ubicaciones. La siguiente tabla muestra esas proyecciones:

Localización	Precio por par	Demanda pronosticada por año
Aspen	$500	60,000 pares
Medicine Lodge	$350	45,000 pares
Broken Bow	$350	43,000 pares
Wounded Knee	$350	40,000 pares

c) Determine qué ubicación lleva a la mayor ganancia total por año.

d) ¿Es esta decisión de localización sensible a la exactitud del pronóstico? ¿Cuál es el volumen mínimo de ventas por el que Aspen se convierte en la ubicación elegida?

5. Wiebe Trucking, Inc. está planeando un nuevo almacén para dar servicio al oeste de Estados Unidos. Denver, Santa Fe y Salt Lake City están bajo consideración. Para cada localización, los costos fijos anuales (renta, equipo y seguros) y los costos variables promedio (mano de obra, transporte y servicios públicos) se dan en la siguiente tabla. Las proyecciones de venta van de 550,000 a 600,000 envíos por año.

Localización	Costo fijo anual	Costo variable por envío
Denver	$5,000,000	$4.65
Santa Fe	$4,200,000	$6.25
Salt Lake City	$3,500,000	$7.25

a) Grafique las curvas de costo total para todos los lugares en una sola gráfica.

b) ¿Qué ciudad proporciona el menor costo global?

6. Sam Hutchins planea operar un kiosco de emparedados en baguette, pero está indeciso en cuanto a ubicarlo en la plaza comercial del centro de la ciudad o en un centro comercial de los suburbios. Con base en los siguientes datos, ¿qué ubicación le recomendaría?

Localización	Centro	Suburbios
Renta anual, incluyendo servicios	$12,000	$8,000
Demanda esperada anual (emparedados)	30,000	25,000
Costo variable promedio por emparedado	$1.50	$1.00
Precio de venta promedio por emparedado	$3.25	$2.85

7. Los siguientes tres puntos son las ubicaciones de instalaciones importantes en una red de transporte: (20, 20), (50,10) y (50, 60). Las coordenadas están en millas.

a) Calcule las distancias euclidianas (en millas) entre cada uno de los tres pares de instalaciones.

b) Calcule estas distancias utilizando las distancias rectilíneas.

8. West Gorham High School se ubicará en el centro de gravedad de la población de tres comunidades: Westbrook, población 16,000; Scarborough, población 22,000; y Gorham, población 36,500.Westbrook está localizado a 43.6769° N, 70.3717° O; Scarborough está localizado a 43.5781° N, 70.3222° O; y Gorham está a 43.6795° N, 70.4447° O.

a) ¿Dónde debe localizarse West Gorham High School?

b) Si solo dos lotes de terreno adecuado están disponibles para venta: Baker's Field a 43.6784° N, 70.3827° O; o Lonesome Acres a 43.5119° N, 70.3856° O, utilice la distancia rectilínea para determinar cuál está más cerca del sitio localizado en el inciso *a*).

9. Prescott Industries transporta arena y piedra extraídas de sus minas de cielo abierto localizadas en Odessa y Bryan a sus instalaciones de fabricación de concreto en Abilene, Tyler y San Angelo. Para las capacidades, localizaciones y costos de envío por camión cargado que se muestran en la figura 11.8, determine el patrón de envíos que minimizará los costos de transporte. ¿Cuáles son los costos de transporte asociados con este patrón de asignación óptima?

Fuente	Destino			Capacidad
	Abilene	Tyler	San Angelo	
Odessa	$60	$50	$40	12,000
Bryan	$70	$30	$90	10,000
Demanda	8,000	10,000	4,000	22,000

▲ **FIGURA 11.8**
Tabla de transporte para Prescott Industries

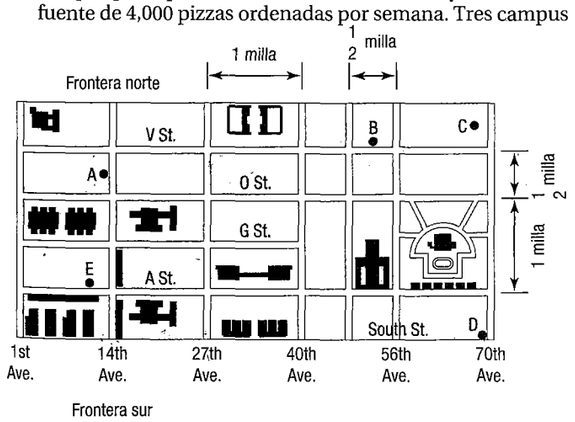
10. Winston Company tiene cuatro centros de distribución (A, B, C y D) que requieren 40,000, 60,000, 30,000 y 50,000 galones de agua desionizada, respectivamente, por mes para limpiar sus camiones de largo recorrido. Tres mayoristas de agua desionizada (1, 2 y 3) indican su disposición para suministrar hasta 50,000, 70,000 y 60,000 galones, respectivamente. El costo total (precio más envío) de la entrega de 1,000 galones de agua desionizada de cada mayorista a cada centro de distribución se muestra en la siguiente tabla:

Mayorista	Centro de distribución			
	A	B	C	D
1	$1.30	$1.40	$1.80	$1.60
2	$1.30	$1.50	$1.80	$1.60
3	$1.60	$1.40	$1.70	$1.50

a) Determine la solución óptima. Muestre que todas las capacidades han sido agotadas y que todas las demandas se satisfacen con esta solución.

b) ¿Cuál es el costo total de la solución?

11. Val's Pizza está buscando una sola localización central para hacer pizza solo para entregar a domicilio. Este pueblo alrededor de una universidad está dispuesto en una malla de calles arteriales, como se muestra en la figura 11.9. El campus principal (A), ubicado en las calles 14 y R, es la fuente de 4,000 pizzas ordenadas por semana. Tres campus más pequeños (B, C y D) se localizan en la 52 y V, en la 67 y Z y en la 70 y Sur. Las órdenes de los campus más pequeños promedian 1,000 pizzas por semana. Además, la estación de policía (E), en la 10 y A, ordena 500 pizzas por semana.



▲ **FIGURA 11.9**
Mapa del área del campus

a) ¿Cerca de cuál intersección debe Val buscar un lugar adecuado? (Estime las coordenadas para las demandas principales con exactitud al cuarto de milla más cercano y luego encuentre el centro de gravedad).

b) ¿Cuál es la calificación carga-distancia semanal rectilínea para esta localización?

c) Si la persona que reparte puede recorrer una milla en dos minutos en las arterias y ¼ de milla por minuto en las calles residenciales, ¿cuánto tiempo tomará ir del centro de gravedad a la ubicación más lejana de la demanda?

12. Se va a construir una oficina postal más grande y moderna en una nueva ubicación en Davis, California. El crecimiento de los suburbios ocasionó un cambio en la densidad de población desde hace 40 años, cuando se construyó la oficina actual. Annette Werk, la administradora de correos, pidió a su asistente que dibujara un mapa de malla de los siete puntos donde se recoge el correo y se entrega en costales. Las coordenadas y los viajes por día desde y hacia las fuentes del correo y la oficina postal actual, M, se muestran en la siguiente tabla. M continuará funcionando como una fuente pequeña de correo después de la reubicación.

Fuente de correo	Viajes redondos por día	Coordenadas *x*, *y* (millas)
1	6	(2. 8)
2	3	(6, 1)
3	3	(8, 5)
4	3	(13, 3)
5	2	(15, 10)
6	7	(6, 14)
7	5	(18, 1)
M	3	(10, 3)

a) Calcule el centro de gravedad como posible localización para la nueva instalación (redondeando al entero más cercano).

b) Compare las calificaciones de carga-distancia para la localización en el inciso *a*) y la localización actual, con la distancia rectilínea.

13. Rauschenberg Manufacturing investiga qué localizaciones posicionarían mejor a una nueva planta respecto a tres clientes importantes (ubicados en las ciudades A, B y C). Como se muestra en la siguiente tabla, los tres clientes requieren entregas en varios días. La administración limitó la búsqueda para esta planta a esas tres ubicaciones y compiló la siguiente información:

Localización	Coordenadas (millas)	Entregas por día
A	(100, 200)	8
B	(400, 100)	4
C	(100, 100)	3

a) ¿Cuál de estos tres lugares lleva a la distancia total recorrida más pequeña, basada en distancias euclidianas?

b) ¿Cuál de estos tres lugares es mejor, según las distancias rectilíneas?

c) ¿Cuáles son las coordenadas del centro de gravedad?

14. Un fabricante de computadoras personales planea localizar sus plantas de ensamble en Taiwán y enviar sus computadoras de regreso a Estados Unidos por Los Ángeles o San Francisco. Tiene centros de distribución en Atlanta, Nueva York y Chicago y las enviará de la ciudad elegida como puerto de entrada en la costa oeste. El costo total de transporte es el único criterio para elegir el puerto. Utilice el modelo de carga-distancia y la información de la tabla 11.7 para seleccionar la ciudad más efectiva en costos.

TABLA 11.7 | DISTANCIAS Y COSTOS PARA EL FABRICANTE DE PC

		Centro de distribución (unidades/año)		
		Chicago (10,000)	**Atlanta (7,500)**	**Nueva York (12,500)**
	Los Ángeles			
	Distancia (millas)	1,800	2,600	3,200
	Costo de envío ($/unidad)	0.0017 millas	0.0017 millas	0.0017 millas
PUERTO DE ENTRADA				
	San Francisco			
	Distancia (millas)	1,700	2,800	3,000
	Costo de envío ($/unidad)	0.0020 millas	0.0020 millas	0.0020 millas

Problemas avanzados

15. Oscar's Bowling, Inc. desea entrar al mercado metropolitano de Phoenix con uno de sus boliches de 24 horas, el cual es de grandes dimensiones y con 200 pistas. Sin embargo, solo tiene suficiente capital para construir una instalación. Oscar quiere quedar centrado por la población, como lo determina el método del centro de gravedad. Proporciona la siguiente información:

Ciudad	Población	Coordenada *x*	Coordenada *y*
Temple	250,000	5	5
Scottsdale	400,000	5	10
Chandler	300,000	5	0
Mesa	700,000	10	1
Glendale	350,000	1	10

a) ¿Dónde debe construir Oscar?

b) Si Oscar quisiera relocalizarse a la ciudad más cercana de su nueva instalación, ¿dónde viviría?

16. Acme Company opera cuatro fábricas que envían productos a cinco almacenes. Los costos de envío, las capacidades y requerimientos, y las asignaciones óptimas se muestran en la figura 11.10. ¿Cuál es el costo total de la solución óptima?

Fábrica	Costos de envío por caja a almacén					Capacidad
	W1	W2	W3	W4	W5	
F1	$1 **60,000**	$3 **20,000**	$4	$5	$6	80,000
F2	$2	$2	$1 **50,000**	$4 **10,000**	$5	60,000
F3	$1	$5	$1	$3 **20,000**	$1 **40,000**	60,000
F4	$5	$2 **50,000**	$4	$5	$4	50,000
Demanda	60,000	70,000	50,000	30,000	40,000	250,000

▲ **FIGURA 11.10**
Solución óptima para Acme Company

17. Dennison Manufaturing hace grandes resortes helicoidales que se usan en el tren de aterrizaje de aviones. La compañía ha reducido sus opciones potenciales para su nueva instalación de manufactura a cuatro ciudades. Se cuenta con la siguiente información acerca de los costos de manufactura y envío para la localización en cada una de estas ciudades.

	Costos fijos por año	Costos variables de manufactura por unidad	Costo variable de envío por unidad
Phoenix	$300,000	$70.00	$5.00
Búfalo	$600,000	$56.00	$4.00
Seattle	$1,500,000	$36.00	$2.00
Atlanta	$1,750,000	$42.00	$5.00

a) Utilice el análisis de punto de equilibrio para determinar dónde debe ubicarse Dennison.

b) Con base solo en la cantidad del punto de equilibrio, si el pronóstico de manufactura de Dennison para el futuro inmediato es 40,000 unidades anuales, ¿dónde debe ubicarse?

18. La Giant Farmer Company procesa alimentos para venta en tiendas de descuento. Tiene dos plantas: una en Chicago y otra en Houston. La compañía también opera almacenes en Miami, Florida; Denver, Colorado; Lincoln, Nebraska, y Jackson, Mississippi. Los pronósticos indican que la demanda pronto excederá la oferta y que se necesita una nueva planta con capacidad de 8,000 cajas por semana. La pregunta es dónde localizar la nueva planta. Dos sitios potenciales son Búfalo, Nueva York y Atlanta. Las dos tablas siguientes proporcionan los datos de capacidades, demanda pronosticada y costos de envío que se han reunido.
Para cada alternativa de localización de la nueva planta, determine el patrón de envíos que minimiza el costo total de transporte. ¿Dónde debe ubicarse la nueva planta?

Planta	Capacidad (cajas por semana)	Almacén	Demanda (cajas por semana)
Chicago	10,000	Miami	7,000
Houston	7,500	Denver	9,000
Nueva planta	8,000	Lincoln	4,500
	Total 25,500	Jackson	5,000
			Total 25,500

	Coste de envío a almacén (por caja)			
Planta	**Miami**	**Denver**	**Lincoln**	**Jackson**
Chicago	$7.00	$2.00	$4.00	$5.00
Houston	$3.00	$1.00	$5.00	$2.00
Búfalo (alternativa 1)	$6.00	$9.00	$7.00	$4.00
Atlanta (alternativa 2)	$2.00	$10.00	$8.00	$3.00

19. Thor International Company opera cuatro fábricas que envían productos a cinco almacenes. Los costos de envío, requerimientos y capacidades se muestran en la figura 11.11.

Fábrica	Costo de envío por caja a cada almacén						Capacidad
	W1	W2	W3	W4	W5	Ficticio	
F1	$2	$3	$3	$2	$6	$0	50,000
F2	$2	$3	$2	$4	$5	$0	80,000
F3	$4	$2	$4	$2	$3	$0	80,000
F4	$3	$4	$4	$5	$2	$0	40,000
Demanda	45,000	30,000	30,000	35,000	50,000	60,000	250,000

▲ **FIGURA 11.11**
Tabla de transporte para Thor International

Utilice el método de transporte para encontrar el programa de envíos que minimiza el costo de envío.

20. Considere de nuevo la situación de Thor International Company descrita en el problema 19. Thor decide cerrar F4 por los altos costos de operación. El administrador de logística está preocupado por el efecto de esta acción sobre los costos de transporte. Actualmente, F4 está enviando 40,000 unidades a W5 a un costo de $80,000 [40,000 ($2)]. Si el suministro de este almacén viniera de F1 (que por ahora no se usa), el costo aumentaría a $240,000 [40,000 (6)]. Como resultado, el administrador de logística pide un incremento de presupuesto de $160,000 ($240,000 – $80,000).

a) ¿Debe el administrador de logística obtener este incremento de presupuesto?

b) Si no, ¿cuánto presupuestaría como aumento en los costos de envío?

21. Considere el problema de localización de una instalación para Giant Farmer Company descrito en el problema 18. La administración está considerando un tercer sitio, en Memphis. Los costos de envío por caja desde Memphis son: $3 a Miami, $11 a Denver, $6 a Lincoln y $5 a Jackson. Encuentre el plan de costo mínimo para una planta alternativa en Memphis. ¿Cambiaría este resultado la decisión del problema 18?

22. Chambers Corporation produce y vende un producto automotriz contra robo, que se guarda en varios almacenes en todo el país. Recientemente, su grupo de investigación de mercado compiló un pronóstico que indica un incremento significativo en la demanda que ocurrirá en el futuro cercano. La compañía decide satisfacer esta demanda construyendo una nueva capacidad de planta. Chambers tiene plantas en Baltimore y Milwaukee y no tiene deseos de reubicar esas instalaciones. Cada planta es capaz de producir 600,000 unidades por año.
Después de una búsqueda exhaustiva, la compañía desarrolló tres alternativas de sitio y capacidad. La alternativa 1 es construir una planta de 600,000 unidades en Portland.

La alternativa 2 es construir una planta de 600,000 unidades en San Antonio. La alternativa 3 es construir una planta de 300,000 unidades en Portland y una planta de 300,000 unidades en San Antonio. Los cuatro almacenes de la compañía distribuyen el producto a los minoristas. Un estudio de mercado proporcionó los siguientes datos.

Almacén	Demanda anual esperada
Atlanta (AT)	500,000
Columbus (CO)	300,000
Los Ángeles (LA)	600,000
Seattle (SE)	400,000

El departamento de logística compiló la siguiente tabla de costos especificando el costo por unidad para enviar el producto de cada planta a cada almacén de la manera más económica, sujeta a la confiabilidad de los diferentes transportistas involucrados

Planta	Almacén			
	AT	CO	LA	SE
Baltimore	$0.35	$0.20	$0.85	$0.75
Milwaukee	$0.55	$0.15	$0.70	$0.65
Portland	$0.85	$0.60	$0.30	$0.10
San Antonio	$0.55	$0.40	$0.40	$0.55

Como parte de la decisión de localización, la administración quiere una estimación del costo total de distribución para cada alternativa. Utilice el método de transporte para calcular estas estimaciones.

Ejercicio de modelo activo

El modelo activo 11.2 aparece en MyOMLab. Le permite encontrar la ubicación que minimiza la calificación de carga-distancia total.

PREGUNTAS

1. ¿Cuál es la calificación de carga-distancia total a la nueva instalación médica de Health-Watch si está localizada en el centro de gravedad?
2. Corrija la coordenada *y* y utilice la barra de desplazamiento para modificar la coordenada *x*. ¿Puede reducir la calificación de carga-distancia total?
3. Corrija la coordenada *x* y use la barra de desplazamiento para modificar la coordenada *y*. ¿Puede reducir la calificación de carga-distancia total?
4. El centro de gravedad no necesariamente encuentra el sitio con la calificación mínima de carga-distancia total. Utilice ambas barras de desplazamiento para mover la localización prueba y vea si logra mejorar (disminuir) la calificación de carga-distancia total.

Referencias seleccionadas

"BMW Announces Its Plans for a Plant in South Carolina". *Wall Street Journal* (24 de junio, 1992), p. B2.

Chittum, Ryan. "Location, Location, and Technology: Where to Put That New Store? Site-Selection Software May Be Able to Help." *Wall Street Journal* (18 de julio, 2005), p. R7.

Chowdhury, Santanu. "GE Plans Multiuse Factory in India". *Wall Street Journal* (14 de marzo, 2011).

"Doing Well by Doing Good". *The Economist* (22 de abril, 2000), pp. 65-67.

Deeds, David. "Increasing the Rate of New Venture Creation: Does Location Matter?" *Academy of Management Executive,* vol. 18, núm. 2 (2004), pp. 152-154.

Galuszka, P. "The South Shall Rise Again". *Chief Executive,* noviembre, 2004, pp. 50-54.

Hahn, E.D. y K. Bunyaratavej. "Services cultural alignment in offshoring: The impact of cultural dimensions on offshoring location decisions". *Journal of Operations Management,* vol. 28, núm. 3 (2010), pp. 186-193.

Lovelock, Christopher H. y George S., Yip. "Developing Global Strategies for Service Businesses". *California Management Review,* vol. 38, núm. 2 (1996), pp. 64-86.

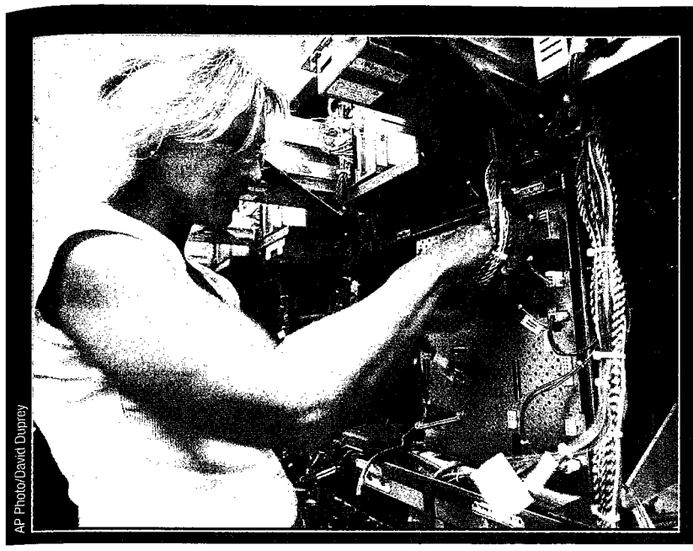
"Manager's Journal: Why BMW Cruised into Spartanburg". *Wall Street Journal* (6 de julio, 1992), p. AI0.

"MapInfo Delivers Location Intelligence for Marco's Pizza". *Directions Magazine* (14 de diciembre, 2004), www.directionsmag.com/press.releases/?duty=Show&id= 10790.

Melo, M.T., S. Nickel y F. Saldanha-da-Gama. "Facility Location and Supply Chain Management a Review". *European Journal of Operational Research,* vol. 196, núm. 2 (2009), pp. 401-412.

Rubinstein, Ed. "Chain Chart Their Course of Actions with Geographic Information Systems". *Nation's Restaurant News*, vol. 32, núm. 6 (1998), p. 49.

"The Science of Site Selection." *National Real Estate Investor* (Octubre 11, 2002).



AP Photo/David Duprey

12

INTEGRACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO

Una empleada de Eastman Kodak ensambla una impresora de producción digital Kodak NexPress en la planta de comunicación gráfica en Rochester, Nueva York.

Eastman Kodak

El servicio a clientes después de la venta, el cual requiere tener la parte de reparación correcta en el lugar adecuado en la cadena de suministro de partes, es una dimensión competitiva clave en el negocio actual para los proveedores de servicios al igual que para los fabricantes. Sobrealmacenar partes en toda la cadena de suministro no es una opción debido al gasto. Eastman Kodak, un fabricante de $7,200 millones de productos para imágenes digitales, descubrió esto respecto a sus partes digitales en la posventa. Estas partes, que se vuelven obsoletas con rapidez, son muy costosas, incluidas las tarjetas de circuitos, los controladores de cabezas de impresión, CPU, discos ópticos y monitores. Kodak se enfrentó al conflicto típico: los administradores de grupos de productos querían inventarios bajos y los ingenieros de campo, que hacían las reparaciones y tenían que dar la cara al cliente querían inventarios altos. Ante la necesidad de reducir el costo de los inventarios, al tiempo de mantener o mejorar el servicio, Kodak debió rediseñar su cadena de suministro e integrar las entidades para lograr operaciones funcionales.

En lugar de permitir que los ingenieros de campo llevaran partes costosas, los administradores de Kodak se dieron cuenta de que una opción que valía la pena explorar era centralizar las partes costosas en lugares estratégicos para las reparaciones y entregarlas sobre demanda a los ingenieros. Primero, el número de localizaciones de inventario adelantado (FSL, *forward stock locations*) para guardar las partes costosas y los niveles de inventario en cada lugar tenían que determinarse utilizando el software Baxter Planning Systems. Segundo, UPS Supply Chain Solutions fue seleccionado como el proveedor de logística para operar más de 100 localizaciones FSL y entregar las partes cuando se necesitara a los ingenieros de campo. Por último, y quizá lo más importante, Kodak

UTM UNIVERSIDAD THOMAS MORE SAPIENTIA ET VIRTUS BIBLIOTECA

incorporó por completo a los ingenieros de campo y al personal de la cadena de suministro de partes en el diseño del proceso y puso en marcha un programa piloto de cuatro meses para ayudar a los empleados a aceptar el nuevo diseño.

Kodak demostró que integrar por completo los elementos clave de la nueva cadena de suministro, incluyendo al proveedor de software, al de logística y a los empleados internos, suele llevar a resultados significativos. Durante el primer año de operación, el nuevo programa redujo los artículos en el inventario FSL a 66%, el inventario central a 32%, los envíos prioritarios a 22% y no tuvo impacto negativo en la duración de la reparación.

Fuente: Mark Brienzi y Dr. Sham Kekre, "How Kodak Transformed Its Service Parts Supply Chain", *Supply Chain Management Review* (octubre, 2005), pp. 25-32; **www.bybaxter.com/news_archive.html; www.kodak.com.**

METAS DE APRENDIZAJE *Después de estudiar este capítulo, usted será capaz de:*

1. Identificar las causas importantes de la dinámica en una cadena de suministro.
2. Explicar la manera en que las cadenas de suministro integradas pueden mitigar la dinámica en ellas.
3. Explicar la naturaleza y propósito de los procesos anidados clave dentro del desarrollo de nuevos servicios o productos, las relaciones con proveedores, la satisfacción de órdenes y los procesos de relación con el cliente.
4. Utilizar un análisis de costo total anual y una matriz de preferencias para seleccionar a los proveedores y la regla de decisión del valor esperado para determinar la capacidad de logística.
5. Identificar las palancas clave y las medidas de desempeño importantes que resultan útiles para mejorar el desempeño en la cadena de suministro.

El desarrollo y la entrega de servicios y productos se han vuelto cada vez más complejos en la economía global actual. El ejemplo de Kodak muestra cómo puede una empresa rediseñar su cadena de suministro para tener una ventaja competitiva cambiando la localización de inventarios cruciales, agregando un nuevo proveedor en la forma de logística y cambiando el tipo de acceso al inventario que tenían los ingenieros de campo. Para ser efectivo, debe disponerse de información precisa de inventarios y demanda junto a una colaboración fuerte entre las partes involucradas. Kodak tuvo éxito en la **integración de la cadena de suministro**, que es la coordinación efectiva de los procesos de la cadena de suministro a través de un flujo de información sin fisuras, arriba y abajo de esa cadena. La integración de la cadena de suministro proporciona a cada miembro de la cadena visibilidad de las capacidades e inventarios de otros miembros para ayudar en la planeación y programación. Facilita la colaboración entre las empresas en una cadena de suministro; en efecto, es un facilitador de la administración de la cadena de suministro. En este capítulo exploramos el proceso implicado en la integración de la cadena de suministro, los beneficios que se han de tener y el papel que dicha integración puede tener al abordar los aspectos ambientales.

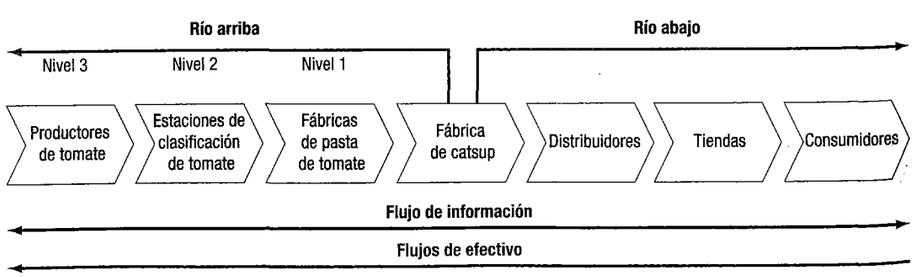
integración de la cadena de suministro
Coordinación efectiva de los procesos de la cadena de suministro a través de un flujo de información sin fisuras, arriba y abajo de esa cadena.

Integración de la cadena de suministro en toda la organización

Como lo ilustra el ejemplo de Kodak, la integración de la cadena de suministro incluye procesos internos y externos. La figura 12.1 muestra cuán interconectados están los procesos y las empresas en la cadena de suministro. Piense en una cadena de suministro como en un río que fluye de los proveedores de materias primas a los consumidores. Por ejemplo, una fábrica de salsa de tomate catsup obtiene su mayor suministro de las fábricas de pasta de tomate, que para la fábrica de catsup es el nivel 1 de proveedores. A su vez, las fábricas de pasta de tomate obtienen su mayor suministro de las estaciones de clasificación de tomate, que son proveedores de nivel 2 para la fábrica de catsup. Al final, los productores de tomate envían su producto directamente a las estaciones de clasificación. Los proveedores de los niveles 1, 2, y 3 están *río arriba* de la fábrica de catsup, lo que significa que pueden controlar el flujo de suministros a la fábrica de catsup. Suponga que la fábrica de pasta de tomate tiene una falla importante en su proceso. El flujo de pasta de tomate a la fábrica de catsup disminuiría al mínimo, como si alguien construyera una presa en el río. Sin duda, incluso las entidades *río abajo* de la fábrica de catsup podrían sentir los efectos después de que los inventarios de catsup se hayan agotado. Cuando un enlace en la cadena falla, sea un proceso interno o externo o uno de un proveedor, el resto de la cadena siente los efectos.

Mitigar los efectos de las interrupciones en la cadena de suministro es un beneficio importante de su integración. Los flujos de información, río arriba y río abajo, proporcionan visibilidad a los miembros de la cadena respecto a suministros, capacidades y planes. Los flujos de efectivo se mueven hacia arriba, lo cual afecta el precio, los programas promocionales y los contratos de suministros. Comprender las implicaciones de materiales, información y flujos de efectivo en una cadena de suministro es importante para todos los empleados en una organización.

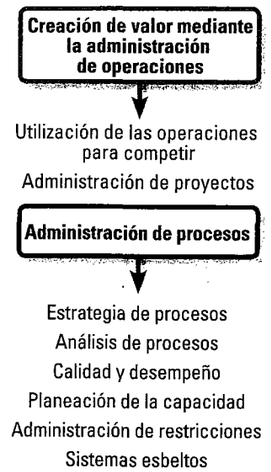
FIGURA 12.1 ▶
Cadena de suministro para una fábrica de catsup



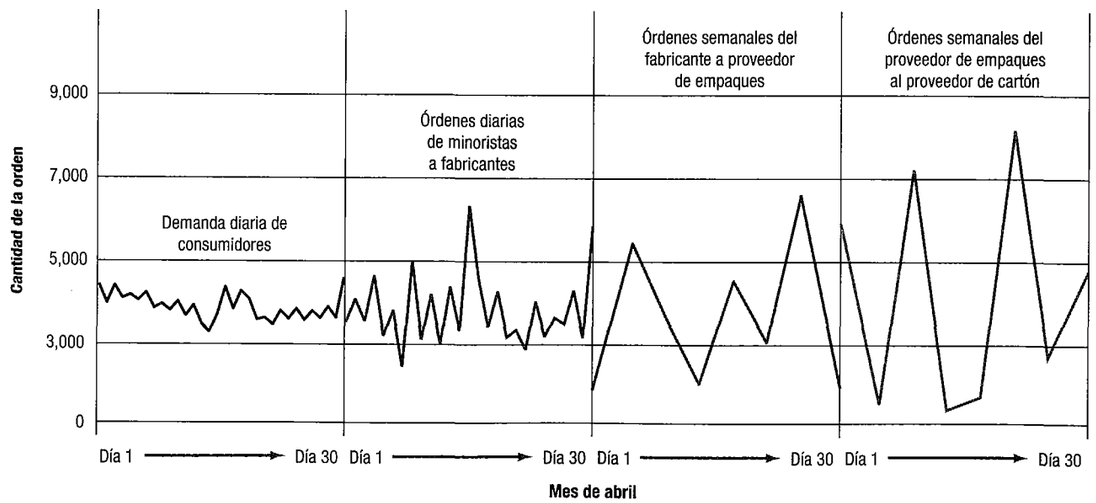
Dinámica de la cadena de suministro

La dinámica de la cadena de suministro puede causar estragos en su desempeño. Cada empresa en una cadena de suministro depende de los servicios, materiales o información de otras empresas, necesarios para abastecer a sus clientes externos inmediatos. Como lo normal es que las empresas sean propiedad y estén administradas de manera independiente, las acciones de los miembros río abajo de la cadena (en una posición cercana al usuario del servicio o producto) suelen afectar las operaciones de los miembros río arriba. La razón es que los miembros río arriba deben reaccionar a las demandas colocadas sobre ellos por los miembros río arriba de la cadena. Estas demandas son una función de las políticas que tienen las empresas río abajo para reabastecer sus inventarios, los niveles actuales de esos inventarios, las demandas de sus clientes y la exactitud de la información con la que trabajan. Al examinar los patrones de órdenes de las empresas en una cadena de suministro, con frecuencia verá que la variabilidad en las cantidades ordenadas aumenta al ir hacia arriba. Este incremento en la variabilidad se conoce como **efecto látigo (*bullwhip effect*)**, que obtiene su nombre por la acción de un látigo: el mango inicia la acción y la punta del látigo experimenta la acción más fuerte. El más pequeño cambio en las demandas de un cliente puede ondular por toda la cadena, cada miembro recibe más variabilidad en las demandas del miembro inmediato río abajo. Una empresa contribuye al efecto látigo si la variabilidad de las órdenes para sus proveedores excede la variabilidad de las órdenes de sus clientes inmediatos.

La figura 12.2 muestra el efecto látigo en una cadena de suministro de pañuelos desechables. La variabilidad en las órdenes aumenta al ir río arriba. Como los patrones de suministros no son iguales a los patrones de la demanda, los inventarios se acumulan en algunas empresas y ocurren faltantes en otras. Las empresas con demasiado inventario dejan de ordenar y las que han tenido faltantes colocan órdenes urgentes. Los culpables son los cambios inesperados en la demanda o los suministros que se basan en varias causas.



▼ FIGURA 12.2
Dinámica de la cadena de suministro para pañuelos desechables



efecto látigo
Fenómeno en la cadena de suministro en el que los patrones de ordenar experimentan una variación creciente al proceder río arriba en la cadena.

Causas externas

Una empresa tiene muy poco control sobre sus clientes y proveedores externos que ocasionen alteraciones periódicamente. Las alteraciones externas típicas incluyen las siguientes:

- *Cambios en el volumen*. Los clientes pueden cambiar la cantidad de servicio o producto que ordenan para una fecha específica u ordenar en forma inesperada más de un servicio o producto estándar. Si el mercado demanda tiempos de entrega cortos, la empresa necesita tener una reacción rápida de sus proveedores.
- *Cambios en la mezcla de productos o servicios*. Los clientes pueden cambiar la mezcla de artículos en una orden y ocasionar el efecto de la ola en toda la cadena de suministro. Por ejemplo, una cadena de tiendas de electrodomésticos importante puede cambiar la mezcla de lavadoras en sus órdenes, de 60% de la marca Whirlpool y 40% de Kitchen Aid a 40% de Whirlpool y 60% de Kitchen Aid. Esta decisión cambia el programa de producción de la planta Whirlpool que hace ambas marcas, ocasionando desbalances en sus inventarios. Además, el proveedor de nivel 1 que hace las placas frontales para las lavadoras debe cambiar su programación, afectando con ello a *sus* proveedores.
- *Entregas tarde*. Las entregas tarde de los materiales o los retrasos en servicios esenciales forzarían a una empresa a cambiar su programa de producir un modelo de un producto a otro. Las empresas que le surten artículos específicos para el modelo tal vez tengan que interrumpir su programación. Por ejemplo, la planta de Whirlpool quizá encontraría que el proveedor de una componente para su modelo A de lavadora no surte la parte a tiempo. Para evitar parar la línea de ensamble, que es una acción costosa, quizá Whirlpool decida cambiar a la producción del modelo B. De pronto, la demanda sobre los proveedores de partes específicas para el modelo B aumenta.
- *Envíos incompletos*. Los proveedores que envían pedidos parciales, lo hacen debido a alteraciones en sus propias plantas. Los efectos de estos envíos parciales son similares a los de entregas tarde, a menos que los envíos parciales contengan suficientes materiales para permitir a la empresa operar hasta el siguiente envío.

Causas internas

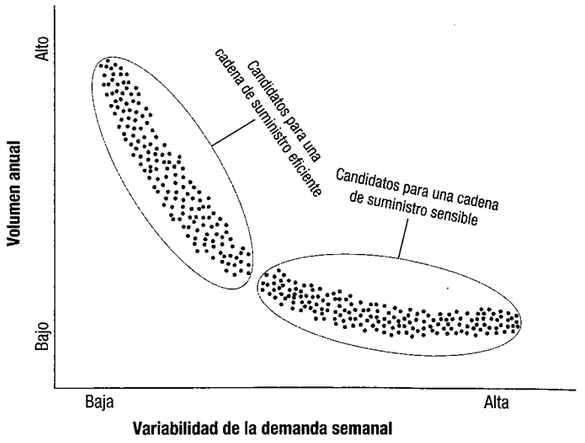
Una famosa línea de una caricatura de *Pogo* es: "Hemos visto al enemigo, y ¡somos nosotros!" Desafortunadamente, esta afirmación es cierta para muchas empresas cuando se trata de interrupciones en la cadena de suministro. Las propias operaciones de la empresa pueden ser responsables de lo que se convierte en la fuente de una dinámica constante en la cadena de suministro. Las interrupciones internas típicas incluyen las siguientes:

- *Faltantes generados internamente*. Un faltante de partes fabricadas por una empresa puede ocurrir por descomposturas de máquinas o trabajadores sin experiencia. Este faltante suele ocasionar un cambio en el programa de producción de la empresa, lo que afecta a los proveedores.
- *Cambios de ingeniería*. Los cambios en el diseño de servicios o productos suelen tener un impacto directo sobre los proveedores. Por ejemplo, cambiar las líneas de alimentación de la televisión por cable a la tecnología de fibra óptica aumenta los beneficios para los clientes de la compañía, pero afecta la demanda del cable coaxial.
- *Lotes grandes*. A menudo, los proveedores ofrecen descuentos por cantidad, que da un incentivo a las empresas para comprar lotes grandes de un artículo con menos frecuencia; esto eleva la variabilidad en las órdenes para el proveedor. Los lotes grandes también pueden tener economías de transporte; las órdenes más grandes pueden permitir envíos de camión lleno y al mismo tiempo crear más variabilidad.
- *Introducción de nuevos servicios o productos*. Una empresa decide el número de lanzamientos de nuevos servicios o productos, al igual que los tiempos. Con ello introduce una dinámica en la cadena de suministro. Los nuevos servicios o productos quizá incluso requieran una nueva cadena de suministro o la adición de miembros a la existente.
- *Promociones de servicios o productos*. Una práctica común de las empresas que producen servicios o productos estandarizados es dar descuentos de precios para promover las ventas. El descuento en precios crea un pico en la demanda que se siente en toda la cadena de suministros.
- *Errores de información*. Los errores en el pronóstico de la demanda pueden ocasionar que una empresa ordene demasiados o muy pocos servicios y materiales o precipitar órdenes urgentes que fuercen a los proveedores a reaccionar más rápido para evitar faltantes en la cadena de suministros. Además, los errores en la cuenta física de artículos en inventario pueden ocasionar faltantes (y compras de pánico) o demasiado inventario (y disminución en las compras). Por último, los vínculos de comunicación entre compradores y proveedores podrían estar fallando.

Implicaciones para el diseño de la cadena de suministro

Algunas veces, la dinámica en una cadena de suministro se puede reducir rediseñando la cadena. Considere la figura 12.3, que muestra la relación generalizada entre los volúmenes anuales de unidades en inventario (SKU) y su variabilidad en la demanda semanal. Para esta empresa, algunos SKU tienen alto volumen y baja variabilidad, mientras que otros tienen bajo volumen y alta variabilidad.

En el grado en el que la volatilidad en las demandas esté fuera del control de la empresa, aferrarse a la cadena de suministros legado de la empresa puede ser demasiado costoso, debido a la dinámica de la cadena. Mapear el portafolio de productos junto con las dimensiones de variabilidad del volumen anual y la demanda semanal puede revelar mejores configuraciones de la cadena de suministro. Entonces, una empresa tendría dos diseños de cadena de suministro diferentes que sirven a dos grupos de productos distintos. Por ejemplo, SKU con volúmenes menores y alta variabilidad semanal pueden atenderse mejor con un diseño de cadena de suministros sensible (de respuesta rápida), como ensamblar o fabricar por pedido. Hacer esto reduce la necesidad de inventarios de productos terminados cuando las demandas de los clientes son impredecibles. De otra manera, sería mejor dar servicio a los SKU de volúmenes altos y con variabilidad semanal baja, con un diseño de cadena de suministro de fabricar para el inventario (*buid to stock*). Los pronósticos son más exactos y utilizar un inventario de bienes terminados es una estrategia efectiva. Rediseñar una cadena de suministro es una tarea costosa y solo debe contemplarse cuando la dinámica no logre reducirse lo suficiente por otros medios.



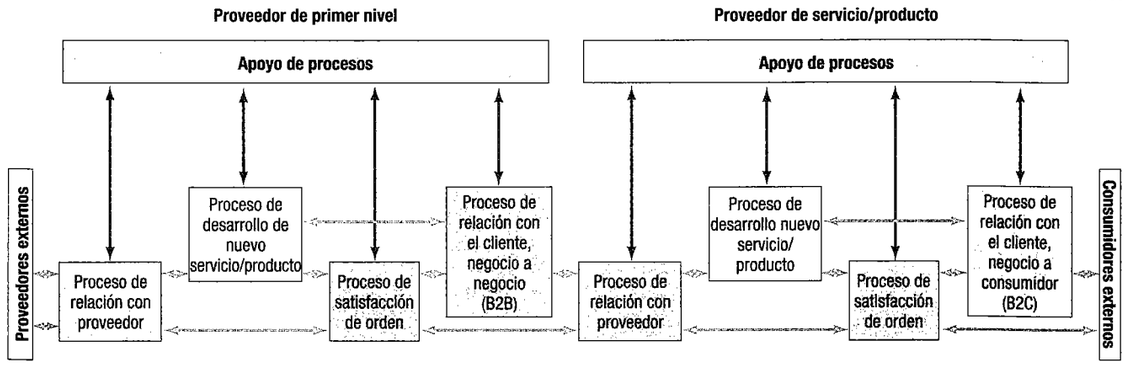
▲ **FIGURA 12.3**
Volumen anual contra variabilidad de la demanda semanal para los SKU de una empresa

Es verdad que muchas interrupciones simplemente son resultado de una coordinación ineficiente en la cadena de suministro porque están involucradas muchas empresas y operaciones separadas. Por lo tanto, es poco realista pensar que todas las alteraciones se eliminarán. De cualquier forma, el reto para los administradores de las cadenas de suministro es anular las alteraciones todo lo posible y minimizar el impacto de las que no se pueden eliminar.

Cadenas de suministro integradas

Sin importar cuál sea el diseño de la cadena de suministro, minimizar las alteraciones en la cadena comienza con un alto grado de integración funcional y organizacional. Esta integración no ocurre de la noche a la mañana; debe incluir vínculos entre la empresa y sus proveedores y clientes, como se muestra en la figura 12.4. El desarrollo de nuevos servicios o productos, la relación con proveedores, la satisfacción de órdenes y los procesos de relación con el cliente, al igual que sus vínculos internos y externos se integran en la rutina normal de negocios. La empresa asume una orientación hacia el cliente. En lugar de solo reaccionar a la demanda del cliente, lucha por trabajar con sus clientes y proveedores para que todos se beneficien con flujos de servicios y materiales mejorados. La empresa también debe desarrollar una mejor comprensión de la organización, capacidades, fortalezas y debilidades de sus proveedores e incluirlos pronto en el diseño de los nuevos servicios o productos.

▼ **FIGURA 12.4**
Vínculos de la cadena de suministro externos



Otro marco de referencia es el *modelo de referencia de las operaciones de la cadena de suministro*, conocida como SCOR (*supply chain operations model*), desarrollado por el Consejo de Cadenas de Suministro (*Supply Chain Council*) con la asistencia de 70 compañías líder de manufactura en el mundo. La figura 12.5 muestra que el **modelo SCOR** se centra en una cadena de suministro básica con procesos para planeación, *abasto, fabricación, entrega* y *devolución*, repetida una y otra vez en toda la cadena. Los procesos de devolución manejan el regreso de los materiales reciclables y los productos defectuosos, que estudiaremos con más detalle en el capítulo 13, "Sustentabilidad de la cadena de suministro y logística humanitaria". Muy parecido al modelo mostrado en la figura 12.4, el modelo SCOR hace hincapié en que el diseño de una cadena de suministro integrada es complejo y

Modelo SCOR
Marco de trabajo que se enfoca en los procesos de planeación, abasto, fabricación, entrega y devolución de la cadena de suministro básica, repetidos una y otra vez a lo largo de la cadena.

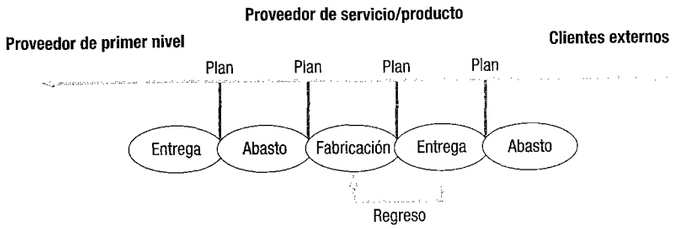


FIGURA 12.5 ▶
Modelo SCOR

requiere una *visión de proceso*. Ya proporcionamos información clave de las decisiones del diseño de procesos en las partes 1 y 2 de este libro. Esta información se debe aplicar a los procesos de desarrollo de nuevos servicios o productos, de relación con el proveedor, de satisfacción de la orden, y de relación con el cliente. Más allá de esto, estos procesos necesitan integrarse tanto dentro de la empresa como en toda la cadena de suministro. Es importante saber que una cadena de suministro integrada, implicada en la figura 12.4 y en el modelo SCOR de la figura 12.5, proporciona un marco de trabajo para las decisiones de operación en una empresa, y que estos procesos tienen un papel importante.

Proceso de desarrollo de un nuevo servicio o producto

Las prioridades competitivas ayudan a los administradores a desarrollar servicios y productos que los consumidores quieren. Los nuevos servicios o productos son esenciales para la supervivencia a largo plazo de la compañía. *Nuevos* se refiere tanto a servicios o productos completamente novedosos o a cambios importantes en los existentes. El proceso de desarrollo de un nuevo servicio/producto es un elemento integral de la cadena de suministro de la empresa porque define la naturaleza de los flujos de materiales, servicios e información que debe apoyar la cadena de suministro. Como se muestra en la figura 12.6, inicia con la consideración de la estrategia de desarrollo y termina con el lanzamiento de la nueva oferta. Presentamos algunas consideraciones para los administradores de la cadena de suministro.

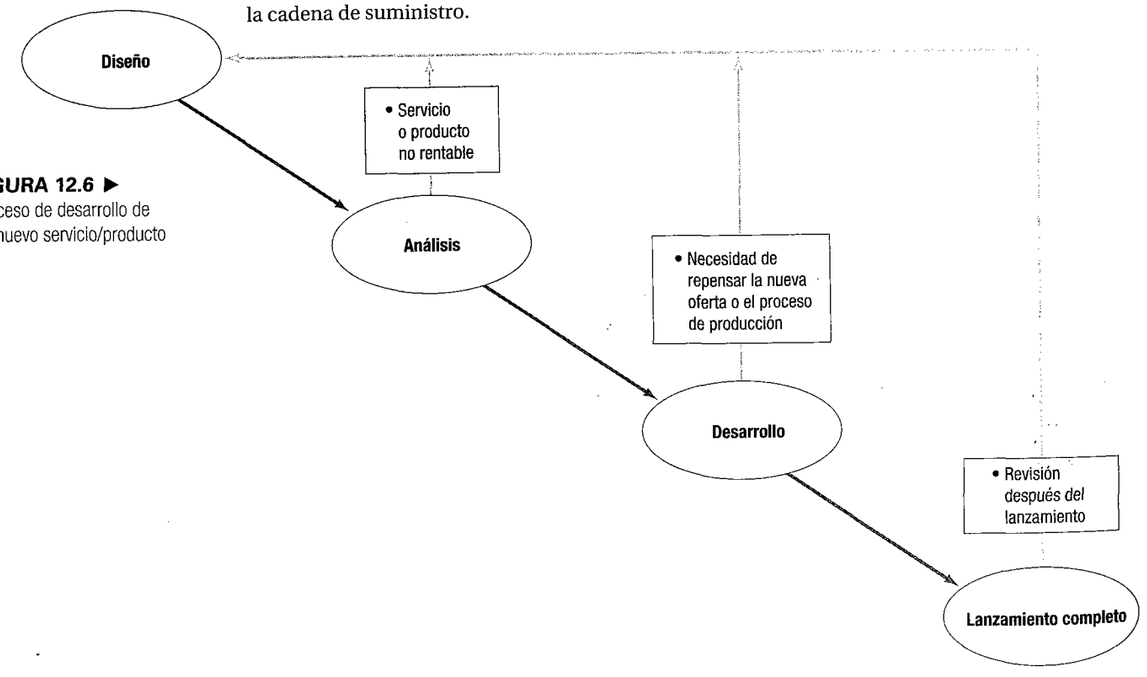


FIGURA 12.6 ▶
Proceso de desarrollo de un nuevo servicio/producto

Diseño

La etapa de *diseño* es crucial porque vincula la creación de nuevos servicios o productos con la estrategia corporativa de la empresa y define los requerimientos de la empresa para la cadena de suministro. Como se ha observado, la estrategia corporativa especifica los objetivos a largo plazo y los mercados en los que la empresa desea competir. En la etapa de diseño, se proponen y revisan las nuevas ofertas en cuanto a su factibilidad y valor en el mercado. Estas ideas especifican la manera en que el cliente se conecta con la empresa de servicios o manufactura, los beneficios y los resultados para el cliente, además del valor del servicio o producto. Las propuestas también especifican cómo se producirá y entregará la nueva oferta, una consideración importante para la cadena de suministro. Con frecuencia deben hacerse elecciones cruciales, como las materias primas, el grado de modularidad en el diseño o la naturaleza de los servicios logísticos necesarios para llevar el servicio o producto al mercado. Aunque muchas de las especificaciones detalladas del servicio o producto y sus procesos no se han desarrollado, la información de los diseñadores, ingenieros, proveedores, administradores de la cadena de suministro y los clientes potenciales en esta etapa puede evitar errores costosos.

Análisis

La segunda etapa, el *análisis*, incluye una revisión crítica de la nueva oferta y cómo se producirá para asegurar que se ajuste a la estrategia corporativa, que es compatible con los estándares reglamentarios, presenta un riesgo de mercado aceptable y satisface las necesidades de los clientes previstos. Deben examinarse los requerimientos de recursos de la nueva oferta desde la perspectiva de las capacidades centrales de la empresa y la necesidad de adquirir recursos adicionales. Debe evaluarse si la cadena de suministro existente es apropiada para la nueva oferta. Si necesita cambios, tal vez deba evaluarse el diseño (eficiente o sensible) o deban adquirirse nuevas capacidades formando sociedades estratégicas con nuevas empresas. Si el análisis revela que la nueva oferta tiene un buen potencial de mercado y que la empresa tiene la capacidad (o puede adquirirla), se da la autorización para proceder a la siguiente etapa.

Desarrollo

La tercera etapa, el *desarrollo*, da más especificidad a la nueva oferta. Las prioridades competitivas requeridas se utilizan como entradas al diseño (o rediseño) de los procesos que serán parte de la entrega de la nueva oferta. Los procesos se analizan, incluyendo los de proveedores; cada actividad se diseña para que cumpla sus prioridades competitivas y agregue valor al servicio o producto. Una vez que se especifica la nueva oferta y se verifican las capacidades de los procesos, se puede diseñar el programa de mercado. Por último, se capacita al personal y se realizan algunas corridas de prueba, para pulir los detalles de la producción y el suministro. En esta etapa es posible que surjan algunos problemas no previstos, obligando a reconsiderar el servicio o producto o los procesos requeridos para producirlo. La cadena de suministro puede tener que rediseñarse también.

Para evitar desajustes costosos entre el diseño de la nueva oferta y la capacidad de los procesos y la cadena de suministro que se requieren para producirla, muchas empresas utilizan un concepto llamado **ingeniería concurrente**, que reúne a ingenieros de producto, ingenieros de proceso, comercializadores, compradores, especialistas en información, especialistas en calidad y proveedores para diseñar un producto y los procesos que cumplirán las expectativas del cliente. Los cambios son mucho más sencillos y menos costosos en esta etapa. Sin embargo, tal vez se descubran durante esta etapa problemas con el diseño o la capacidad de entregar la nueva oferta. La propuesta de la nueva oferta podría tener que desecharse o repensarse por completo.

ingeniería concurrente
Concepto que reúne a ingenieros de producto, ingenieros de proceso, comercializadores, compradores, especialistas en información, especialistas en calidad y proveedores para diseñar un producto y los procesos que cumplirán las expectativas del cliente.

Lanzamiento completo

La etapa final, el *lanzamiento completo*, incluye la coordinación de muchos procesos internos, lo mismo que los ríos abajo y río arriba de la cadena de suministro. Las promociones para la nueva oferta deben iniciar, se da la información al personal, se activan los procesos de distribución y se eliminan los servicios o productos que la nueva oferta va a reemplazar. Aparece un poco de tensión en la cadena de suministro durante un periodo conocido como *subir la rampa*, cuando los procesos de producción deben aumentar el volumen para satisfacer la demanda mientras se solucionan problemas de calidad y los cambios de diseño de último minuto. Cuanto más integrada esté la cadena de suministro más fácil será el periodo de subir la rampa. La flexibilidad en la cadena de suministro es un atributo deseable durante ese periodo inicial. Más adelante, cuando el servicio o producto madure y el volumen aumente lo suficiente, tal vez se deba desarrollar una cadena basada en la eficiencia.

Sin importar el servicio o producto, una revisión después del lanzamiento debe comparar las prioridades competitivas de la cadena de suministro con sus capacidades competitivas, y tal vez se vean señales de la necesidad de repensar la idea del servicio o producto original o la cadena de suministro. La revisión también debe tener información de los clientes, quienes quizá quieran divulgar sus experiencias y compartir ideas para un cambio.

Proceso de relación con el proveedor

La naturaleza del servicio o producto determina el diseño de los requerimientos para la cadena de suministro río arriba. El proceso de relación con el proveedor, que se centra en la interacción de la empresa con los proveedores río arriba, incluye cinco procesos anidados importantes: **1.** abastecimiento, **2.** diseño de colaboración, **3.** negociación, **4.** compras y **5.** intercambio de información. Para muchas empresas, estos procesos son la responsabilidad de **compras** de la organización, que es la actividad que decide qué proveedores usar, negocia los contratos, mantiene los flujos de información y determina si comprar localmente.

compras
Actividad que decide cuáles proveedores utilizar, negocia contratos y determina comprar localmente.

Abastecimiento

El proceso de abastecimiento está implícito en la selección, certificación y evaluación de los proveedores y, en general, en la administración de los contratos de suministros.

Selección de proveedor Un punto de partida para elegir proveedores es realizar un análisis de costo total. Existen cuatro costos clave a considerar para cada proveedor.

- *Costos de material.* Negociar con los proveedores la provisión de un servicio o producto da como resultado un precio por unidad (o aplicación del servicio). Los costos de material son iguales a los requerimientos anuales (D) multiplicados por el precio unitario, p.

$$\text{Costos anuales de material} = pD$$

- *Costos de flete.* Los costos de transportar el producto o equipo y el personal que realiza el servicio suelen variar mucho dependiendo de la localización del proveedor, el tamaño de los envíos (los envíos de camión lleno [TL] son menos costosos por libra que los envíos de menos de un camión [LTL], el número de envíos por año y el modo de transporte (el transporte por aire es más costoso que por camión o ferrocarril).

- *Costos de inventario.* Los interesados en comprar productos deben considerar las cantidades de envío y los tiempos de entrega del proveedor. La cantidad del envío, Q, determinará el inventario de ciclo que el comprador debe mantener hasta el siguiente envío del producto.

$$\text{Inventario de ciclo} = Q/2$$

El tiempo de entrega, L, y los requerimientos promedio por día (o semana), $\bar{d}$, determinarán el nivel del inventario en tránsito, que también puede ser responsabilidad del comprador. Suponiendo un tiempo de entrega constante,

$$\text{Inventario en tránsito} = \bar{d}L$$

El comprador debe pagar los costos de mantener el inventario de ciclo y los inventarios en tránsito. El costo anual de inventario es igual a la suma de los inventarios de ciclo y en tránsito multiplicada por el costo anual de mantener por unidad, H. Vea en el capítulo 9, "Administración del inventario de la cadena de suministro", una revisión de los costos de mantener el inventario y del inventario de ciclo y en tránsito.

$$\text{Costo anual de inventario} = (Q/2 + \bar{d}L)H$$

- *Costos administrativos.* Los contactos de suministros deben monitorearse y quizá se requieran interacciones frecuentes con el proveedor. Los costos administrativos incluyen el tiempo de administración y otros costos variables asociados con la interacción con el proveedor. Estos costos pueden variar mucho, dependiendo de la localización del proveedor; los proveedores más distantes suelen requerir más atención administrativa.

El costo total anual para un proveedor es la suma de estos costos:

$$\text{Costo total anual} = pD + \text{costos de flete} + (Q/2 + \bar{d}L)H + \text{costos administrativos}$$

EJEMPLO 12.1 Análisis del costo total por la selección del proveedor

Compton Electronics produce laptops para fabricantes importantes de computadoras. Un elemento clave de la laptop es el teclado. Compton ha identificado tres proveedores potenciales para el teclado, cada uno localizado en diferentes partes del mundo. Las consideraciones importantes de costo son el precio por teclado, los costos de flete, los costos de inventario y los costos administrativos del contrato. Los requerimientos anuales del teclado son 300,000 unidades. Suponga que Compton cuenta con 250 días hábiles en el año. Los administradores obtuvieron los siguientes datos de cada proveedor:

	COSTO ANUAL DE FLETE		
	Cantidad enviada (unidades/envío)		
Proveedor	**10,000**	**20,000**	**30,000**
Belfast	$380,000	$260,000	$237,000
Hong Kong	$615,000	$547,000	$470,000
Shreveport	$285,000	$240,000	$200,000

	COSTOS DE TECLADO Y TIEMPOS DE ENTREGA			
Proveedor	**Precio/ unidad**	**Costo anual de mantener inventario (costo /unidad)**	**Tiempo de entrega (días)**	**Costos administrativos**
Belfast	$100	$20.00	15	$180,000
Hong Kong	$96	$19.20	25	$300,000
Shreveport	$99	$19.80	5	$150,000

¿Cuál proveedor proporciona el costo total anual más bajo para Compton?

SOLUCIÓN

Los requerimientos promedio por día son:

$$\bar{d} = 300{,}000/250 = 1{,}200 \text{ teclados.}$$

Cada opción debe evaluarse tomando en cuenta la cantidad del envío según la siguiente ecuación:

Costo total anual = costos de materiales + costos de flete + costos de inventarios + costos administrativos

$= pD$ + costo de flete + $(Q/2 + \bar{d}L)H$ + costos administrativos

Por ejemplo, considere la opción de Belfast para un envío de tamaño Q = 10,000 unidades. Los costos son:

Costo de materiales = pD = ($100/unidad)(300,000 unidad) = $30,000,000

Costo de flete = $380,000

Costo de inventario = (inventario de ciclo + inventario en tránsito) $H = Q/2 + \bar{d}L)H$

= 10,000 unidades/2 + 1,200 unidades/día (15 días)) $20/unidades/año = $460,000

Costos administrativos = $180,000

Costo total anual = $30,000,000 + $380,000 + $460,000 + $180,000 = $31,020,000

Los costos totales para las tres opciones de cantidad de envío se calculan de manera similar y están contenidos en la siguiente tabla.

	COSTOS TOTALES ANUALES PARA LOS PROVEEDORES DE TECLADOS		
	Cantidad de envío		
Proveedor	**10,000**	**20,000**	**30,000**
Belfast	$31,020,000	$31,000,000	$31,077,000
Hong Kong	$30,387,000	$30,415,000	$30,434,000
Shreveport	$30,352,800	$30,406,800	$30,465,800

PUNTO DE DECISIÓN

Observe que la cantidad a enviar juega un papel importante; el menor costo para el proveedor de Belfast viene de una cantidad de envío de 20,000 teclados. De cualquier modo, con base en el análisis del costo total, el proveedor de Shreveport proporcionará el menor costo para Compton. Este debe elegir una cantidad de envío de 10,000 teclados, lo que implica que habrá 30 envíos por año (300,000/10,000). Mientras que el proveedor de Hong Kong tiene el precio más bajo por teclado, el de Shreveport puede entregar teclados a Compton con el costo total más bajo, que incluye costos de logística, inventario y administrativos.

En tanto que el costo total es una consideración importante en la selección de proveedores, también pueden ser importantes otras dimensiones de desempeño. La calidad de los materiales de un proveedor suele ser crucial, ya que los costos ocultos de la mala calidad pueden ser altos. De manera similar, los tiempos de entrega más cortos y la entrega a tiempo permiten a la empresa que compra mantener un servicio al cliente aceptable con menos inventario. La administración debe revisar los segmentos de mercado que desea atender y relacionar sus necesidades de selección de proveedores con la cadena de suministro. Las prioridades competitivas y los ganadores de órdenes para la empresa son un buen punto de partida para desarrollar una lista de criterios de desempeño por aplicar. Por ejemplo, si usted fuera administrador de una empresa de comida rápida, además de los costos totales, querría utilizar la entrega a tiempo y la calidad como los criterios más importantes en la selección de proveedores. Estos criterios reflejan los requerimientos que las cadenas de comida rápida deben cumplir.

compra verde

Proceso de identificar, evaluar y administrar el flujo de desperdicio ambiental y encontrar maneras de reducirlo y minimizar su impacto sobre el ambiente.

Otro criterio importante en la selección de proveedores es el impacto ambiental. Muchas empresas están participando en la **compra verde**, que implica identificar, evaluar y administrar el flujo de desperdicio ambiental y encontrar maneras de reducirlo y minimizar su impacto sobre el ambiente. Ahora se pide a los proveedores que estén conscientes del ambiente cuando diseñen y produzcan sus servicios y productos. Las afirmaciones como *verde, biodegradable, natural* y *reciclado* deben sustentarse cuando licitan un contrato. En un futuro no muy lejano, este criterio podría volverse importante en la selección de proveedores. Tendremos más qué decir sobre este tema en el capítulo 13, "Sustentabilidad de la cadena de suministro y logística humanitaria".

Cuando nos enfrentamos con criterios múltiples en el problema de la selección del proveedor, la administración puede utilizar la matriz de preferencias mostrada en el ejemplo 12.2. Vea el suplemento A, "Toma de decisiones", donde encontrará una revisión de este enfoque.

EJEMPLO 12.2 Utilización de una matriz de preferencias al seleccionar un proveedor

La administración de Compton Electronics ha hecho un análisis de costos para los tres proveedores internacionales de teclados (ejemplo 12.1). Compton también considera en su selección la entrega a tiempo, la calidad constante y la responsabilidad ambiental. Se da un peso a cada criterio (total de 100 puntos) y se da una calificación a cada proveedor (1 = mal, 10 = excelente) en cada criterio. Los datos se muestran en la siguiente tabla:

		CALIFICACIÓN		
Criterio	**Peso**	**Belfast**	**Hong Kong**	**Shreveport**
Costo total	25	5	8	9
Entrega a tiempo	30	9	6	7
Calidad constante	30	8	9	6
Medio ambiente	15	9	6	8

SOLUCIÓN

La calificación ponderada para cada proveedor se calcula multiplicando el peso por la calificación para cada criterio y sumando para obtener un total. Por ejemplo, la calificación ponderada de Belfast es:

$$WS = (25 \times 5) + (30 \times 9) + (30 \times 8) + (15 \times 9) = 770$$

De manera similar, la calificación ponderada para Hong Kong es 740 y para Shreveport, 735. En consecuencia, Belfast es el proveedor preferido.

PUNTO DE DECISIÓN

Aun cuando Belfast tiene el costo total más alto en los cálculos del ejemplo 12.1, tiene un desempeño significativamente mejor en el criterio que Compton, lo que se considera muy importante. Dados los pesos colocados en el criterio, es claro que Compton está dispuesto a pagar más por un mejor desempeño en la entrega, la calidad y el cuidado ambiental.

participación temprana del proveedor

Programa que incluye a los proveedores en la etapa de diseño de un servicio o producto.

preabastecimiento

Nivel de participación del proveedor en el que los proveedores se seleccionan pronto en la etapa de desarrollo conceptual del producto y se les da gran parte de la responsabilidad, si no es que toda, para el diseño de ciertos componentes o sistemas de productos.

Certificación y evaluación de proveedores Los programas de certificación del proveedor verifican que los proveedores potenciales tengan la capacidad de proporcionar los servicios o materiales que requiere la empresa que compra. Un programa es el ISO 9001:2008 (véanse más detalles en el capítulo 5, "Calidad y desempeño"). La certificación típica incluye visitas al sitio por un equipo de varias funciones de la empresa compradora, que hace una evaluación profunda de las capacidades del proveedor para cumplir las metas de costo, calidad, entrega y flexibilidad de los procesos y las perspectivas del sistema de información. El equipo consiste en miembros de las operaciones de compras, ingeniería, sistemas de información y contabilidad. Exploran todos los aspectos de producir servicios o materiales. El equipo observa los procesos del proveedor en acción y revisa que la documentación esté completa y sea precisa. Una vez certificado, el departamento de compras puede utilizar a este proveedor sin tener que hacer verificaciones.

La certificación no da al proveedor un pase gratis en evaluaciones futuras. El desempeño se monitorea con regularidad y se conservan los registros. El equipo de certificación puede hacer visitas periódicas. Quizá se requiera una recertificación después de cierto tiempo o si el desempeño declina.

Colaboración en el diseño

La colaboración en el proceso de diseño se centra en diseñar de manera conjunta nuevos servicios o productos con los proveedores clave; la ingeniería concurrente se facilita al acercar al proveedor con el desarrollo del nuevo servicio/producto, en particular en las etapas de diseño y desarrollo. Este proceso busca eliminar retrasos costosos y errores en que se incurre cuando muchos proveedores actuales diseñan paquetes de servicio o componentes de manufactura.

Un enfoque que muchas empresas adoptan en su proceso de colaboración en el diseño se llama **participación temprana del proveedor**, que es un programa que incluye a los proveedores en su etapa de diseño de un servicio o producto. Los proveedores aportan sugerencias para cambios de diseño y elecciones de materiales que serán más eficientes en las operaciones y darán una calidad más alta. En la industria automotriz, un nivel todavía más alto de participación temprana del proveedor se conoce como **preabastecimiento**, en el que los proveedores se seleccionan en la etapa de desarrollo conceptual de un producto y se les da una responsabilidad grande, si no total, en el diseño de ciertos componentes o sistemas del producto. Los proveedores de preabastecimiento también tienen la responsabilidad del costo, la calidad y la entrega a tiempo de los artículos que producen.

Las empresas también pueden mejorar el desempeño participando en el **análisis de valor**, que es un esfuerzo sistemático para reducir costos o mejorar el desempeño de los servicios o productos, ya sea comprados o producidos. Es un examen intensivo de los servicios, materiales, procesos, sistemas de información y flujos de materiales involucrados en la producción de un servicio o un artículo. Los beneficios incluyen costos reducidos de producción, materiales y distribución; mejores márgenes de ganancia, y un incremento en la satisfacción del cliente.

PRNewsFoto/BIOTA Brands of America, Inc./AP Photos

El agua natural de manantial de BIOTA se origina en uno de los manantiales alpinos más protegidos del mundo, por encima de Ouray, Colorado, y se envasa en la primera botella biodegradable del mundo. Hechas de maíz, son un recurso 100% renovable; las botellas BIOTA se desbaratan en 80 días, aproximadamente, en un entorno de composta comercial.

Negociación

El proceso de negociación se centra en obtener un contrato efectivo que cumpla los requerimientos de precio, calidad y entrega de los clientes internos del proceso de relación con el proveedor. La naturaleza de la relación que se mantiene con los proveedores puede afectar la calidad, los tiempos y el precio de los servicios y productos de la empresa. La orientación de la empresa hacia las relaciones con el proveedor afectará la negociación y el proceso de colaboración en el diseño.

Orientación competitiva La **orientación competitiva** ve la negociación entre comprador y vendedor como un juego de suma cero: lo que pierde una parte, la otra lo gana. Las ventajas a corto plazo se aprecian más que los compromisos a largo plazo. El comprador puede intentar bajar el precio del proveedor al menor nivel de supervivencia o empujar los niveles más altos de demanda durante tiempos de auge y ordenar casi nada durante las recesiones. En contraste, el proveedor presiona por precios más altos para niveles específicos de calidad, servicio al cliente y flexibilidad de volumen. Qué parte gana, depende de quién tiene más fuerza.

El poder de compra determina la fuerza que tiene la empresa. Un comprador tiene poder de compra cuando el volumen representa una parte significativa de las ventas del proveedor o el servicio o artículo comprado es estándar y hay muchos sustitutos. Esta condición se conoce como *dependencia económica*. Sin embargo, las empresas pueden tener otras fuentes de poder con los proveedores. Las fuentes incluyen:

- *Referente*: el proveedor valora la identificación con el comprador. Por ejemplo, el hecho de que una empresa sea proveedora de IBM le abriría las puertas para hacer negocios con otros clientes.

análisis de valor

Esfuerzo sistemático para reducir el costo o mejorar el desempeño de servicios o productos, ya sea comprados o producidos.

orientación competitiva

Relación con un proveedor que ve las negociaciones entre comprador y vendedor como un juego de suma cero: lo que pierde una de las partes, la otra lo gana, y las ventajas a corto plazo se aprecian más que los compromisos a largo plazo.

- *Experto*: el comprador tiene acceso al conocimiento, la información y las habilidades que desea el proveedor. Por ejemplo, un proveedor de UPS puede obtener acceso a las habilidades de planeación de logística que posee UPS.
- *Recompensa*: el comprador tiene la habilidad para compensar al proveedor. Con frecuencia, la recompensa incluirá la promesa de un negocio futuro o la oportunidad de convertirse en socio en algún tiempo futuro.
- *Legal*: el comprador tiene el derecho legal para determinar el comportamiento del proveedor. Por ejemplo, el comprador puede exigir el cumplimiento estricto del contrato negociado o el asunto se llevará a la corte.
- *Coercitivo*: el comprador tiene el poder de penalizar al proveedor. Por ejemplo, el comprador amenaza con cancelar negocios futuros con el proveedor, a menos que se adhiera a las exigencias del comprador.

Debe observarse que el comprador no siempre tiene el poder en la relación. Algunas veces el proveedor tiene el poder; en consecuencia, el proveedor también puede ejercer estas fuentes de poder.

orientación cooperativa
Relación con el proveedor en la que el comprador y el vendedor son socios, cada uno ayuda al otro lo más posible.

Orientación cooperativa La **orientación cooperativa** hace hincapié en que el comprador y el vendedor son socios, cada uno ayuda al otro lo más posible. Una orientación cooperativa significa un compromiso a largo plazo, trabajo conjunto sobre calidad y diseños de servicio o producto y apoyo por el comprador para el desarrollo administrativo, tecnológico y de capacidad del proveedor. Una orientación cooperativa favorece menos proveedores de un servicio o artículo en particular, con solo uno o dos proveedores como el número ideal. Cuando los volúmenes de órdenes aumentan, el proveedor gana economías de escala, que bajan los costos. Cuando los contratos son grandes y se asegura una relación a largo plazo, el proveedor puede incluso construir una nueva instalación y contratar a nuevos trabajadores, quizá reubicarse más cerca de la planta del comprador. Los proveedores se convierten en casi una extensión del comprador.

Una orientación cooperativa significa que el comprador comparte más información con el proveedor acerca de intenciones futuras de compras. Esta visibilidad adelantada permite al proveedor hacer pronósticos mejores y más confiables de la demanda futura. El comprador puede incluso sugerir maneras de mejorar las operaciones de los proveedores. Esta cooperación estrecha con los proveedores significaría que el comprador no necesita inspeccionar los materiales que llegan. También puede indicar una mayor participación del proveedor en el diseño de servicios o productos, aportando ideas para reducción de costos y compartiendo ahorros.

Una ventaja de la orientación cooperativa es la de reducir el número de proveedores en la cadena de suministro, lo cual reduce la complejidad de administrarlos. Sin embargo, reducir el número de proveedores para un servicio o producto puede incrementar el riesgo de una interrupción en el suministro. También quiere decir menos oportunidad de impulsar un buen trato, a menos que el comprador tenga mucho poder. El **abastecimiento único**, que es otorgar un contrato por un servicio o artículo a un solo proveedor, ampliaría cualquier problema que pueda surgir con el proveedor.

abastecimiento único
Otorgar un contrato por un servicio o artículo a un solo proveedor.

Ambas orientaciones, competitiva y cooperativa, tienen sus ventajas y desventajas. La clave es utilizar el enfoque que sirva mejor a las prioridades competitivas de la empresa. Algunas compañías utilizan una estrategia mixta, aplicando un enfoque competitivo para sus suministros de bienes y un enfoque cooperativo para sus servicios y materiales complejos, de alto valor o altos volúmenes.

Compras

El proceso de comprar se relaciona con la procuración real del servicio o los materiales del proveedor. Este proceso incluye la creación, administración y aprobación de las órdenes de compra y determina el lugar de control para las decisiones de compra. Aunque no todas las oportunidades de compra involucran Internet, los mercados virtuales han proporcionado a las empresas muchas oportunidades de mejorar sus procesos de intercambio de información y compras. Presentamos cuatro enfoques de compras electrónicas: **1.** intercambio electrónico de datos, **2.** concentradores de catálogos, **3.** intercambios y **4.** subastas y cierre con las implicaciones de elegir el lugar de control.

intercambio electrónico de datos (EDI)
Tecnología que permite la transmisión de documentos de negocios rutinarios que tienen un formato estándar de computadora a computadora por el teléfono o por línea directa.

Intercambio electrónico de datos Una forma tradicional de compra electrónica es el **intercambio electrónico de datos** (EDI, *electronic data interchange*), una tecnología que permite la transmisión de documentos de negocios rutinarios estandarizados de computadora a computadora por teléfono o línea directa rentada. El software de comunicación especial traduce los documentos de entrada y salida en un formato genérico, que permite a las organizaciones intercambiar información incluso si tienen equipos y componentes de software diferentes. Facturas, órdenes de compra e información de pagos son algunos de los documentos rutinarios que EDI puede manejar, sustituye la llamada telefónica o el envío por correo.

concentradores de catálogos
Sistema mediante el cual los proveedores publican su catálogo de artículos en Internet y los compradores seleccionan lo que necesitan y los compran electrónicamente.

Concentradores de catálogos Los **concentradores de catálogos** se utilizan para reducir los costos de colocar órdenes con los proveedores, al igual que los costos de los servicios o productos mismos. Los proveedores publican su catálogo de artículos en el concentrador; los compradores seleccionan los que necesitan y hacen la compra electrónica. El concentrador conecta a la empresa con cientos de proveedores potenciales a través de Internet, ahorrando los costos de EDI, que requieren conexiones uno a uno con cada proveedor. Más aún, la empresa compradora puede negociar los precios con los proveedores individuales de bienes como artículos de oficina, equipo técnico, servicios, etc. El catalogo que ven los empleados de la empresa compradora consiste solo en los artículos aprobados y los precios que el comprador negoció en forma previa con sus proveedores. Los empleados utilizan sus PC para seleccionar los artículos que necesitan y el sistema genera las órdenes de compra, que se envían electrónicamente a los proveedores.

intercambio
Un lugar de mercado electrónico donde las empresas compradoras y vendedoras se reúnen para hacer negocios.

Intercambios Un **intercambio** es un mercado electrónico donde las empresas compradoras y vendedoras se reúnen para hacer negocio. El intercambio mantiene relaciones con compradores y vendedores, facilitando la negociación sin el aspecto de negociar un contrato u otro tipo de condiciones a largo plazo. Los intercambios con frecuencia se usan para compras "spot" para satisfacer una necesidad inmediata al menor costo posible. Los bienes como petróleo, acero o energía se ajustan a esta categoría. Los intercambios también se utilizan para la mayoría de los artículos como suministros de hoteles u hospitales.

subasta
Un lugar de mercado donde las empresas colocan apuestas competitivas para comprar algo.

Subastas Una extensión del intercambio es la **subasta**, donde las empresas hacen apuestas competitivas para comprar algo. Por ejemplo, quizás un sitio esté formado por una industria en particular y las empresas con exceso de capacidad o materiales los ofertan para la venta al mejor postor. Las apuestas pueden ser cerradas o abiertas a la competencia. El servicio Autodaq Private Auction proporciona información de distribuidores y mayoristas de automóviles usados con la condición completa y el precio del libro guía, además de un sitio web dónde buscar los vehículos. Los distribuidores pueden apostar en tiempo real o someter "apuesta por poder" o "apuesta proxy" ingresando la cantidad más alta que pagarían por un vehículo dado y permitiendo al sistema de Autodaq que apueste en forma automática por ellos incrementos desde $50 hasta la cantidad proxy. Otras industrias en las que las subastas tienen valor incluyen la del acero y la química. Los ejemplos que involucran a consumidores incluyen eBay y Priceline.com.

Un enfoque que ha recibido mucha atención es la llamada *subasta inversa*, donde los proveedores apuestan por contratos con los compradores. Cada apuesta se publica, de manera que los proveedores saben qué tanto más baja debe ser su apuesta para permanecer en la carrera por un contrato. Cada contrato tiene un prospecto electrónico que proporciona todas las especificaciones, condiciones y otros requerimientos que no son negociables. Lo único que resta por determinar es el costo para el comprador. Los ahorros para el comprador pueden ser enormes, algunas veces tanto como 20 a 30% sobre los precios de contrato típicos. Ford, GM y Chrysler hicieron juntos una subasta inversa en el mercado para obtener partes de los proveedores. Se están construyendo mercados similares alrededor de la compra de papel, plástico, acero, ancho de banda, químicos y otros.

Nuestra presentación de estos enfoques de compras electrónicas no debe dejarlo con la impresión de que el costo es la única consideración que hacen las empresas. Los intercambios y las subastas son más útiles para mercancías, casi mercancías o artículos necesarios con poca frecuencia que requieren solo relaciones a corto plazo con los proveedores. De cualquier modo, debe pensarse en los proveedores como socios cuando el abastecimiento necesario es significativo y estable por periodos extendidos. La participación de los proveedores en el diseño del servicio o producto y la mejora del desempeño de la cadena de suministro requiere relaciones a largo plazo que no se forman estableciendo precios competitivos en Internet.

Lugar de control Cuando una organización tiene varias instalaciones (por ejemplo: tiendas, hospitales o plantas) los administradores deben decidir si comprar localmente o hacer compras centralizadas. Esta decisión tiene implicaciones para el control de flujos en la cadena de suministro.

La compra centralizada tiene la ventaja de un poder de compra creciente al crear una situación en la que los proveedores son económicamente dependientes del comprador. Los ahorros llegan a ser significativos, con frecuencia del orden de 10% o más. Un poder de compra creciente puede significar obtener mejor servicio, asegurar disponibilidad de suministros a largo plazo o desarrollar nuevas capacidades del proveedor. Las compañías con proveedores en el extranjero favorecen la centralización porque las habilidades especializadas (por ejemplo, comprender lenguajes y culturas extranjeras) necesarias para comprar a fuentes de otros países pueden centralizarse en un lugar. Los compradores también deben comprender el comercio internacional y contratar la transferencia de servicios y bienes de acuerdo con la ley. Otra tendencia que favorece la centralización es el crecimiento de los sistemas de información basados en computadoras e Internet, que da a los especialistas en las oficinas principales acceso a datos antes disponibles solo a nivel local.

Quizá la mayor desventaja de las compras centralizadas es la pérdida de control a nivel local. La compra centralizada no es deseable para artículos únicos para una instalación en particular. Estos artículos deben comprarse localmente siempre que sea posible. Lo mismo es cierto para las compras que tienen una relación estrecha con los programas de producción. Las compras regionales también son una ventaja cuando la empresa tiene instalaciones en otros países porque los administradores en ellas, con frecuencia extranjeros, tienen mucha mejor comprensión de la cultura local que los miembros del personal en la oficina matriz. Además, las compras centralizadas con frecuencia significan tiempos de entrega más largos.

Tal vez la mejor solución es una estrategia de compromiso, mediante la cual tanto la autonomía como la compra centralizada sean posibles. Por ejemplo, el grupo de compras corporativas de IBM negocia contratos con base centralizada solo a petición de las plantas locales. La administración en una de las plantas monitorea el contrato con todas las plantas participantes.

Intercambio de información

El proceso de intercambio de información facilita el intercambio de la información operativa pertinente, como pronósticos, programación y niveles de inventario entre la empresa y sus proveedores. La nueva tecnología en la forma de identificación por radio frecuencia facilita el flujo de información de inventarios. Más allá de la información de inventarios, el intercambio de pronósticos y otros datos relacionados con la demanda hace más sencillo integrar actividades como los inventarios administrados por el vendedor.

Identificación por radio frecuencia Un requerimiento importante para cualquier proceso de intercambio de información en el contexto de una cadena de suministro es que la información sea precisa en cuanto a la cantidad y localización de los inventarios. Una aplicación nueva de una tecnología antigua presenta algunos beneficios tentadores. La **identificación por radio frecuencia** (**RFID**, *radio frecuency identification*) es un método para identificar los artículos mediante señales de radio emitidas por una etiqueta agregada al artículo. La etiqueta tiene información acerca del artículo y envía señales a un dispositivo que puede leer la información e incluso escribir nueva información en la etiqueta. Los datos de las etiquetas se transmiten de manera inalámbrica de un lugar a otro a través de las redes de código electrónico de producto (EPC, *electronic product code*) e Internet, haciendo teóricamente posible identificar de manera única cada artículo que produce una compañía y rastrearlo hasta que se destruye la etiqueta.

identificación por radio frecuencia (RFID)
Método para identificar artículos a través de señales de radio emitidas por una etiqueta agregada al artículo.

Walmart, Target, Intel, Gillette y el Departamento de Defensa, entre muchas otras grandes tiendas, fabricantes, oficinas de gobierno y proveedores están implementando RFID en sus cadenas de suministro. El uso de los datos de la RFID puede aumentar el nivel del servicio de un proveedor y reducir los robos. Gillette usa la RFID para reducir la cantidad de robo de sus maquinas de afeitar, que asciende hasta a 30% de las ventas.

Las empresas individuales utilizan la RFID dentro de sus propias operaciones y evitan costosas coordinaciones con otras empresas en la cadena de suministro. Sin embargo, los beneficios de usar la RFID internamente son limitados, y también lo es la inversión. Las mayores ganancias potenciales vienen de la aplicación a la cadena de suministro. Para tener éxito, todos los miembros de la cadena deben beneficiarse con la inversión en la RFID, no solo la empresa que impulsa el proyecto. Esto es cierto en especial para las operaciones globales. La sincronización de los datos globales utilizando estándares industriales es crucial para asegurar la precisión y consistencia de la información que se intercambia entre los socios comerciales, lo cual es un desafío.

Inventarios administrados por el vendedor Información confiable respecto a los inventarios arriba y abajo de la cadena de suministro permite a las empresas colaborar de manera efectiva para mejorar el flujo de materiales. Una táctica que requiere un proceso de intercambio de información confiable es la de los **inventarios administrados por el vendedor** (**VMI**, *vendor managed inventories*), un sistema en el que el proveedor tiene acceso a los datos del inventario del cliente y es responsable de mantener el nivel de inventario requerido por el cliente. El inventario está en el sitio del cliente y con frecuencia los proveedores retienen la posesión del mismo hasta que el cliente lo usa o compra. Las compañías como Walmart o Dell aprovechan su posición en el mercado para hacer que los VMI sean un requerimiento. Los inventarios administrados por el vendedor tienen varios elementos clave.

inventarios administrados por el vendedor *(vendor-managed inventory, VMI)*
Sistema en el que el proveedor tiene acceso a los datos de inventarios del cliente y es responsable de mantener el inventario en el sitio del cliente.

- *Esfuerzo colaborativo*. Para que un VMI tenga éxito, los clientes deben estar dispuestos a permitir que el proveedor tenga acceso a su información de inventarios, lo cual se facilita con las RFID, pero deben estar sustentados por información sobre pronósticos, promociones de ventas y otros datos relacionados con la demanda. La consecuencia es que el proveedor asume un papel administrativo importante en el manejo de los inventarios. Así, es necesaria una atmósfera de confianza y responsabilidad.
- *Ahorro en costos*. Los proveedores y clientes eliminan la necesidad de un inventario en exceso mediante una mejor planeación operacional. Los VMI disminuyen los costos administrativos y de inventario. Los costos de colocar órdenes también disminuyen.
- *Servicio al cliente*. El proveedor está, con frecuencia, en el sitio del cliente y entiende mejor las operaciones del mismo, esto mejora los tiempos de respuesta y reduce los faltantes.
- *Acuerdo escrito*. Es importante que ambas partes comprendan completamente las responsabilidades de cada una. Las áreas como proceso de facturación, métodos de pronósticos y programación de reabastecimiento deben especificarse con claridad. Todavía más, debe incluirse la responsabilidad del inventario obsoleto resultado de revisiones del pronóstico y los cambios en la duración de los contratos.

Tanto los proveedores de servicios como los fabricantes pueden utilizar los VMI. AT&T, Roadway Express, Walmart, Dell, Westinghouse y Bose están entre las compañías que los utilizan.

Proceso de satisfacción de órdenes

El proceso de satisfacción de órdenes produce y entrega el servicio o producto a los clientes de la empresa. Existen cuatro procesos anidados: **1.** planeación de la demanda del cliente, **2.** planeación de suministros, **3.** producción y **4.** logística.

Planeación de la demanda del cliente

El proceso de planeación de la demanda del cliente (CDP) facilita la colaboración de un proveedor con sus clientes, con el fin de pronosticar los requerimientos de un servicio o producto. El CDP es un proceso de planeación de negocios que permite a los equipos de ventas (y clientes) desarrollar pronósticos de demanda como entrada para los procesos de planeación de servicios, planeación de producción de inventario y planeación de ingresos. Los pronósticos en general deben preceder a los planes: no es posible tomar decisiones de niveles de personal, compromisos de compras y niveles de inventarios sino hasta que se desarrollan pronósticos que dan una visión de la demanda con precisión razonable para el horizonte de tiempo del pronóstico. El capítulo 14, "Pronósticos", contiene muchas herramientas prácticas para pronosticar demandas.

Planeación de suministros

El proceso de planeación de los suministros toma el pronóstico de la demanda producido por el proceso de planeación de la demanda del cliente, los niveles de servicio al cliente, los inventarios meta proporcionados por la administración de inventarios y los recursos proporcionados por la planeación de la capacidad detallada y agregada para generar un plan para cumplir con la demanda.

Una actividad de la planeación de suministros importante para una empresa es planear el nivel agregado de sus recursos de manera que los suministros estén equilibrados con las demandas. Establecidos por la empresa o a nivel departamental adelantado por varios meses o hasta un año, estos planes agregados especifican las tasas de salida reales, el nivel de fuerza de trabajo y los niveles de inventarios que están de acuerdo con los pronósticos de demanda, las restricciones de capacidad y los planes de inventarios. Estos planes equivalen a planear niveles de personal para las empresas de servicio y las tasas de producción de inventarios de productos terminados para las empresas de manufactura. Una vez determinados los niveles de recursos agregados, deben programarse para lograr el nivel de desempeño previsto por la administración. En el capítulo 15, "Planeación y programación de las operaciones", mostramos la manera en que las empresas planean y programan los recursos productivos para proporcionar un nivel apropiado de suministros para los servicios o productos.

Por último, como dice el dicho, "el diablo está en los detalles". Planear los recursos en niveles agregados es útil para tomar las decisiones de contratación o adquirir bienes de capital para cumplir las demandas a nivel agregado. Al final se vuelve necesario tomar cada servicio o producto individual y planear sus suministros específicos. Con los planes de operación agregados y los programas como base, se utiliza información de estándares de tiempo, rutas y otra información específica de cómo se producirá el servicio o producto, para planear las entradas específicas requeridas. Estos planes son muy detallados, pero muy importantes para el flujo eficiente de servicios y productos. En el capítulo 16, "Planeación de recursos", mostramos cómo se desarrolla este nivel detallado de planeación y cómo se usa la información de este esfuerzo de planeación en otras áreas funcionales de la empresa.

Producción

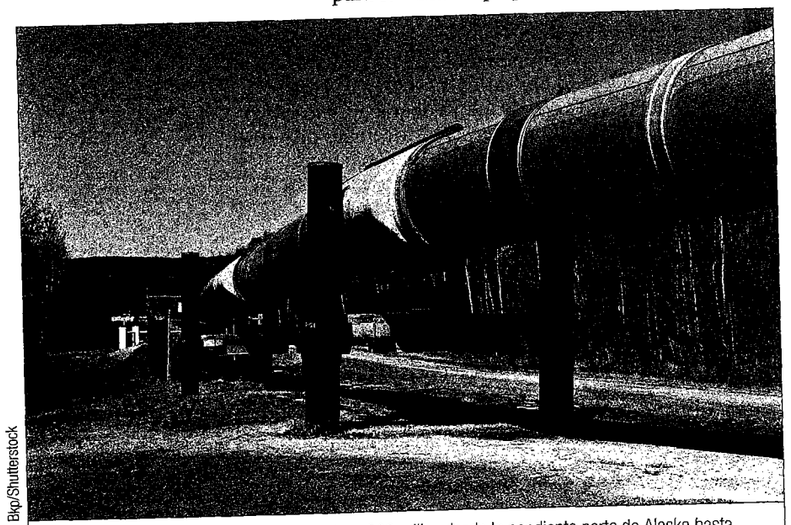
El proceso de producción ejecuta el plan de suministros para producir un servicio o producto. De cualquier forma, el proceso de producción debe estar integrado con los procesos que suministran la entrada, establecen las demandas y entregan el producto a los clientes. Por ejemplo, mientras los clientes siempre pueden comprar paquetes de computadora Dell estandarizados en tiendas como Best Buy y Walmart, los procesos de colocar órdenes, comprar, producir y de logística en Dell tienen un vínculo estrecho cuando un cliente ordena una máquina personalizada directamente al fabricante de computadoras. La cadena de suministro de Dell está diseñada para apoyar la estrategia de ensamblaje sobre pedido, con lo que proporciona un servicio rápido con inventarios mínimos.

Integrar los procesos de suministros y clientes a los procesos de producción es tan importante para las empresas de servicio como para las de manufactura. Las mejores empresas tienen esta relación estrecha de su proceso de producción con los proveedores y los clientes.

Logística

Un aspecto clave de la satisfacción de órdenes es el proceso de logística, que entrega el producto o servicio al cliente. Cinco decisiones importantes determinan el diseño e implementación de los procesos de logística: **1.** grado de propiedad, **2.** localización de instalaciones, **3.** modo de selección, **4.** nivel de capacidad y **5.** cantidad en cruce de andén.

- *Propiedad.* La empresa tiene el mayor control sobre el proceso de logística si es dueño y lo opera, con lo que se convierte en un *transportista privado*. Aunque este enfoque ayuda a lograr mejor las prioridades competitivas, el costo del equipo, la mano de obra, las instalaciones y el mantenimiento pueden ser altos. En su lugar, la empresa podría dejar la distribución a un *tercero logístico* (3PL) y negociar con él los servicios específicos. Esos servicios pueden incluir una porción grande del proceso de satisfacción de órdenes. Los 3PL suelen proporcionar servicios integrados desde transporte y empaque hasta almacenaje y administración de inventarios, para clientes corporativos que necesitan llevar sus productos al mercado. Pueden ayudar con el diseño de la cadena de suministro de un cliente y facilitar el flujo de información arriba y abajo de la cadena de suministro.
- *Localización de instalaciones.* Una decisión importante que afecta la efectividad de la cadena de suministro es la localización de instalaciones que sirven como puntos de servicio, almacenaje o manufactura. Como muestra el ejemplo de apertura de este capítulo, Kodak hizo un análisis profundo para llegar a sus lugares de almacenamiento adelantado. El capítulo 11, "Decisiones de localización de la cadena de suministro", proporciona una presentación completa de las opciones de localización de instalaciones.
- *Selección del modo.* Los cinco modos básicos de transporte son: **1.** camión, **2.** tren, **3.** barco, **4.** tubería y **5.** avión. El impulso de la selección debe ser una prioridad competitiva de la empresa. Los camiones tienen la mayor flexibilidad porque van a cualquier lugar donde haya una carretera. Los tiempos de tránsito son buenos y los costos suelen ser mejores que el tren para cantidades pequeñas y distancias cortas. El transporte por ferrocarril puede mover grandes cantidades a bajo costo; sin embargo, los tiempos de tránsito son largos y con frecuencia variables. El transporte marítimo proporciona una alta capacidad y bajos costos y es necesario para los envíos de artículos grandes al extranjero, pero los tiempos de tránsito son lentos y casi siempre se necesita transporte por carretera o ferroviario para llevar el producto a su destino final. El transporte por tubería es altamente especializado y se usa para líquidos, gases o sólidos en forma de lodo líquido. Aunque tiene flexibilidad geográfica limitada, el transporte por tubería no requiere empaque y los costos de operación por milla son bajos. Por último, el transporte aéreo es el más rápido y costoso por milla. De todas formas, llevar con rapidez un producto al cliente por aire suele reducir los costos totales, cuando los costos de manejo de inventario y almacén se consideran para otras alternativas. El costo de los fondos comprometidos en algunos inventarios en tránsito puede ser importante. Las empresas también utilizan un modo de transporte mixto, donde un envío dado puede combinar dos modos o más. Por ejemplo, los contenedores pueden enviarse en camión, tren o barco en diferentes partes de su tránsito y muchas veces se obtiene la mejor mezcla entre costo y tiempos de entrega.



Bkp/Shutterstock

El sistema de tuberías Trans Alaska atraviesa 800 millas desde la pendiente norte de Alaska hasta puerto Valdez, Alaska, el punto más al norte sin hielo. La tubería tiene 48 pulgadas de diámetro, 11 estaciones de bombeo y una salida máxima de 2 millones de barriles por día.

- *Capacidad.* El desempeño del proceso logístico está directamente relacionado con su capacidad. La decisión de propiedad y de la selección del modo suelen estar entrelazadas debido a que debe contestarse la pregunta de cuánta capacidad es necesaria. Si poseer equipo e instalaciones está bajo consideración, deben ponderarse los costos de capital y los costos variables de operación contra los costos de obtener los servicios logísticos de un proveedor. Para hacer las cosas más difíciles, está el hecho de que los requerimientos para el proceso de logística rara vez se conocen con certidumbre. En esos casos, la administración puede utilizar la *regla de decisión de valor esperado* para evaluar las alternativas de capacidad. El valor esperado de una alternativa se calcula como sigue.

  Valor esperado de una alternativa = (probabilidad de que ocurra un nivel de demanda) (pago por usar la alternativa si ese nivel de demanda se materializa) sumado sobre todos los niveles de demanda posibles.

Vea detalles de este enfoque en el suplemento A, "Toma de decisiones". El ejemplo 12.3 muestra el uso de la regla de decisión del valor esperado para analizar la capacidad de un camión.

EJEMPLO 12.3 Uso de la regla de decisión del valor esperado para la capacidad de un camión

Tower Distributors proporciona servicios logísticos a los fabricantes de la región. Tower recoge productos de los fabricantes, los lleva a su centro de distribución y luego prepara los envíos para las tiendas en la región. Tower necesita construir un nuevo centro de distribución; en consecuencia, debe tomar la decisión de cuántos *camiones utilizar*. El costo de amortización de capital mensual de la propiedad es $2,100 por camión. Los costos variables de operación son de $1 por milla por cada camión que posee Tower. Si la capacidad se excede en *cualquier mes*, Tower *puede rentar camiones* a $2 por milla. Cada camión de Tower se puede usar 10,000 millas por mes, pero los requerimientos para los camiones son inciertos. Los administradores estimaron las siguientes probabilidades para varios niveles de demanda posibles y los tamaños de flota correspondientes.

Requerimientos (millas/mes)	100,000	150,000	200,000	250,000
Tamaño de flete (camiones)	10	15	20	25
Probabilidad	0.2	0.3	0.4	0.1

Observe que la suma de las probabilidades es igual a 1.0. Si Tower quiere minimizar el costo esperado de operación, ¿cuántos camiones debe utilizar?

SOLUCIÓN

Utilizamos la regla de decisión del valor esperado para evaluar los tamaños alternativos de flota, en donde queremos minimizar el costo mensual esperado. Para comenzar, el costo mensual, *C*, debe determinarse para cada *combinación posible* de tamaños y requerimientos de flota. El costo dependerá de si debe rentarse capacidad adicional para el mes. Por ejemplo, considere la alternativa de *una flota de 10 camiones*, que representa una *capacidad de 100,000 millas* por mes. *C* = costo de capital mensual de la propiedad + costo variable de operación por mes + costo de renta si es necesario:

C (100,000 millas/mes) = ($2,100/camión) (10 camiones)+ ($1/milla) (100,000 millas) = $121,000

C (150,000 millas/mes) = ($2,100/camión) (10 camiones) + ($1/milla) (100,000 millas) + ($2renta/milla) (150,000 millas – 100,000 millas) = $221,000

C (200,000 millas/mes) = ($2,100/camión) (10 camiones) + ($1/milla) (100,000 millas) + ($2 renta/milla) (200,000 millas – 100,000 millas) = $321,000

C (250,000 millas/mes) = ($2,100/camión)(10 camiones) + ($1/milla)(100,000 millas) + ($2 renta/milla) (250,000 millas – 100,000 millas) = $421,000

Después se calcula el valor esperado para la alternativa de la *flota de 10 camiones* como sigue:

Valor esperado (10 camiones) = 0.2($121,000) + 0.3($221,000 + 0.4($321,000) + 0.1($421,000) = $261,000

Con una lógica similar, podemos calcular los costos esperados por cada una de las otras opciones de tamaño de flota:

Valor esperado (15 camiones) = 0.2($131,500) + 0.3($181,500 + 0.4($281,500) + 0.1 ($381,500) = $231,500

Valor esperado (20 camiones) = 0.2($142,000) + 0.3($192,000 + 0.4($242,000) + 0.1 ($342,000) = $217,000

Valor esperado (25 camiones) = 0.2($152,500) + 0.3($202,500 + 0.4($252,500) + 0.1 ($302,500) = $222,500

Por la regla de decisión del valor esperado, Tower Distributors debe utilizar una flota de 20 camiones.

PUNTO DE DECISIÓN

El tamaño de flota de 20 camiones significa que Tower tendrá suficiente capacidad para manejar 90% de sus requerimientos (suma de probabilidades para 100,000, 150,000 y 200,000 millas). Más aún, habrá 50% de oportunidad de tener un exceso de capacidad (suma de probabilidades para 100,000 y 150,000 millas). Mientras que la decisión de invertir en 20 camiones minimizará los costos esperados, también proporcionará una holgura de capacidad 50% del tiempo, que refleja el costo relativamente alto de falta de capacidad.

- *Cruce de andén* (*cross docking*). Las operaciones de bajo costo y la velocidad de la entrega pueden mejorar con una técnica llamada **cruce de andén**, que es el empaque de productos en los envíos que entran, de manera que se puedan clasificar con facilidad en un almacén intermedio para los envíos que salen según sus destinos finales; los artículos se llevan del vehículo en el andén de entrada al vehículo en el andén de salida, sin colocarlos en el inventario del almacén. El almacén se convierte en un área de organización de cruce de andén e incluye beneficios como reducción de inversión en inventarios, requerimientos de espacio de almacenaje, costos de manejo y tiempos de entrega, además de una mayor rotación del inventario y flujos de efectivo acelerados. La administración debe decidir dónde se colocan mejor las operaciones de cruce de andén, dado el flujo completo de artículos y sus destinos.

Cruce de andén (*cross-docking*)
Empaque de productos en envíos que entran, de manera que se puedan clasificar con facilidad en almacenes intermedios para los envíos que salen según sus destinos finales.

La práctica administrativa 12.1 muestra la complejidad del proceso de satisfacción de órdenes a bordo de un crucero.

PRÁCTICA ADMINISTRATIVA 12.1 Satisfacción de órdenes a bordo del Coral Princess

Sin importar si está en lo correcto o si el clima es como el de su ciudad natal, piense en reposar un rato en la cubierta del *Coral Princess* en algún lugar del Caribe, justo después de pasar el canal de Panamá. La vista es grandiosa, la brisa suave y fresca; es difícil darse cuenta de que usted y otros 1,974 huéspedes están en un lujoso hotel con entretenimiento que va desde un teatro al aire libre a un casino con todos los juegos de azar que un jugador pueda desear. Si quiere una boda, hay una capilla. Tiene una alberca con domo retráctil, un bar con puros y un estudio de televisión completo.

Mientras que esos entretenimientos suenan bien, hay algo que todos los huéspedes de los cruceros esperan: comer. El Coral Princess tiene cinco restaurantes de alta calidad. Cuando llega la comida ¿se ha preguntado cómo llegó ahí? El suministro de comida y su preparación coloca una tensión tremenda en el proceso de satisfacción de órdenes y la cadena de suministro del Coral Princess. Aquí, a cuatro días de navegación, el administrador del hotel no puede llamar a los proveedores y deciries que olvidó las zanahorias, la mantequilla y el azúcar. Tener faltantes no es una opción aceptable. Tan solo el volumen es un factor complicado. En un crucero promedio de 15 días, el Coral Princess utilizará 175 toneladas de comida, que incluyen 43,200 huevos; 2,425 libras de pasta; 7,245 libras de arroz; 84,000 de vegetales; 13,000 de pollo; 8,800 de pescado, y 10,500 libras de carne. Doscientos empleados de *galley* preparan más de 10,000 comidas al día, todas complementadas con 3,800 botellas de vino y 12,000 botellas de cerveza por crucero. No todo se compra, ni tampoco se pueden guardar 175 toneladas de comida a bordo al mismo tiempo. Ciertos artículos como helado, pastitas de postre y panes se producen a bordo para asegurar su frescura. Otros artículos deben reabastecerse en algunos puertos, según una programación elaborada mucho tiempo antes del crucero. Mientras los huéspedes disfrutan un puerto en el itinerario, el personal del barco reabastece el inventario con comida de los proveedores del área que se ha probado que surten la mejor calidad. Los barcos de cruceros deben ser muy cuidadosos para no aceptar comida que pueda enfermar a los pasajeros.

Incluso "una carreta bien engrasada puede salirse del camino" y también puede ocurrir con el proceso de satisfacción de órdenes en un crucero. Una buena planeación, que incluya planes de contingencia y respuesta rápida, es un atributo deseable. Los desastres naturales, como huracanes o sismos, ocasionan que los cruceros reprogramen sus puertos de estancia, lo cual interrumpiría el suministro programado de comida, los artículos de tiendas, los suministros del hotel y los artículos de mantenimiento. Por ejemplo, el temblor y *tsunami* japonés del 11 de marzo de 2011 no solo ocasionó que los cruceros revisaran sus itinerarios, sino que también afectó a la cadena de suministro durante mucho tiempo, por el temor a la radiación en la comida. Otro ejemplo es la huelga en un puerto de suministros para cruceros. Una huelga laboral en los puertos de Los Ángeles y Long Beach ocasionó una congestión masiva de 70 barcos esperando la descarga y poniendo presión sobre el reabastecimiento de los cruceros Princess que se dirigían a México. La solución fue utilizar camiones para mover parte del envío en contenedores marítimos para moverlos por barco desde el puerto de Oakland, a 450 millas, y el resto por tierra, usando camiones con remolque de 53 pies, programados para que ambos envíos encontraran al crucero en México. Las dos cargas requirieron una gran coordinación para las inspecciones sanitarias, de seguridad, aduanas y equipo refrigerado.

Los barcos de cruceros luchan por proporcionar la mejor experiencia posible a sus huéspedes. El proceso de satisfacción de órdenes es el corazón de ese esfuerzo.

Ian Dagnall/Alamy

El crucero Coral Princess espera comida y suministros en la terminal de cruceros en el puerto de Los Ángeles, San Pedro, Los Ángeles, California.

Fuentes: Handout, *The Coral Princess Food & Beverage Department,* 16 de agosto, 2011: Archivo noticioso en **www.princess.com/news/article;** Case Study Cruise Line Logistics-Princess Cruises, *Agility Logistics,* **www.agilitylogistics.com**

Proceso de relación con el cliente

El proceso de relación con el cliente aborda la interfaz entre la empresa y sus clientes río abajo en la cadena de suministro. El propósito del proceso de relación con el cliente, que apoyan los programas de administración de relación con el cliente (CRM, *customer relationship management*), es identificar, atraer y construir relaciones con los clientes y facilitar la transmisión y rastreo de órdenes. Los procesos anidados clave incluyen marketing, colocación de órdenes y servicio al cliente.

Marketing

El proceso de marketing se centra en aspectos como determinar los clientes meta, cómo llegar a ellos, qué servicios o productos ofrecer, cómo ponerles precio y cómo administrar las campañas promocionales. En este aspecto, el **comercio electrónico (comercio-e)**, que es la aplicación de la tecnología de la información y comunicación en cualquier punto de la cadena de suministro de los procesos de negocios, ha tenido un enorme impacto arriba y abajo de la cadena de suministros. Existen dos tecnologías de comercio-e que se relacionan con el proceso de marketing: los sistemas **1.** negocio a consumidor y **2.** negocio a negocio.

comercio electrónico (comercio-e)

Aplicación de la información y comunicación tecnológica en cualquier punto de la cadena de suministro del proceso de negocios.

Sistemas negocio a consumidor Los sistemas negocios a consumidor (B2C, *business to consumer*), que permiten a los clientes hacer transacciones de negocios en Internet, son un lugar común. El comercio-e B2C ofrece un nuevo canal de distribución para los negocios y los consumidores pueden evitar las tiendas llenas con largas filas en las cajas y espacios de estacionamiento escasos. Muchas de las ventajas del comercio-e se explotaron primero por negocios electrónicos como Amazon.com. E*TRADE y Autobytel. Estas tres compañías crearon versiones de Internet de las librerías tradicionales, empresas de corretaje y distribuidores de automóviles. Internet está cambiando las estructuras de operaciones, procesos y costos, incluso para los minoristas tradicionales, y el crecimiento completo y sus aplicaciones han sido drásticos. Hoy, cualquiera con una conexión de Internet es capaz de abrir una tienda en el ciberespacio. Incluso las tiendas bien establecidas como Walmart aumentan cada día su presencia de compra basada en la Web a través de su programa "sitio a la tienda", donde los clientes pueden, de hecho, comprar en Internet y elegir recoger su orden en la tienda más cercana en pocos días.

Sistemas negocio a negocio El crecimiento más grande; sin embargo, es para los sistemas de comercio electrónico negocio a negocio (B2B, *business to business*) o comercio entre empresas. De hecho, el comercio electrónico negocio a negocio lleva un paso más rápido que las transacciones negocio a consumidor; con el comercio entre negocios forma más de 70% de la economía normal. Estos sistemas facilitan el comercio arriba y abajo de la cadena de suministro, haciendo más sencilla la compra o venta de servicios o productos. Los sistemas B2B también ayudan a manejar el flujo de materiales. Por ejemplo, si un distribuidor tiene un faltante, el almacén central de la empresa recibe la notificación inmediata y envía el reabastecimiento directamente al cliente.

Colocación de órdenes

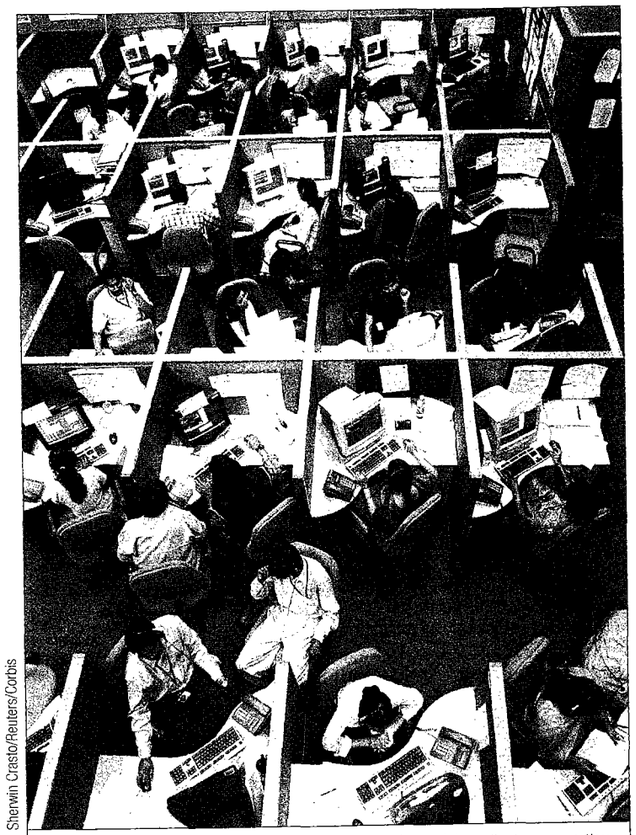
El proceso de colocación de órdenes incluye las actividades requeridas para ejecutar una venta, registrar las especificaciones del pedido, confirmar la aceptación de la orden y rastrear su progreso hasta que la satisfacción esté completa. Con frecuencia, la empresa tiene una fuerza de ventas que visita clientes actuales y prospectos para fomentar una venta.

Internet permite a las empresas hacer reingeniería de su proceso de colocación de pedidos para beneficiar tanto al cliente como a ella misma. Internet proporciona las siguientes ventajas para un proceso de colocación de órdenes:

- *Reducción de costos.* Utilizar Internet puede reducir los costos de procesar órdenes porque permite mayor participación del cliente. Los clientes seleccionan los servicios o productos que quieren y colocan una orden con la empresa, sin tener que hablar con alguien. Este enfoque reduce la necesidad de centros de llamadas, que son intensos en mano de obra y con frecuencia les lleva más tiempo levantar la orden.
- *Incremento en el flujo de ingresos.* Una página web de la empresa puede permitir a los clientes introducir la información de su tarjeta de crédito o los números de la orden de compra como parte del proceso de colocar una orden. Este enfoque reduce los tiempos frecuentemente asociados con la facturación a clientes o la espera por verificaciones enviadas en el correo.
- *Acceso global.* Otra ventaja que da Internet a las empresas es la oportunidad de aceptar órdenes 24 horas al día. Las empresas tradicionales de "ladrillo y mortero" solo toman órdenes durante sus horas hábiles normales. Las empresas con acceso a Internet suelen reducir el tiempo que toma satisfacer a sus clientes que pueden comprar en cualquier momento. Este acceso da una ventaja competitiva a las empresas sobre las tradicionales.
- *Flexibilidad para fijar precios.* Es fácil para las empresas con servicios y productos publicados en la Web cambiar los precios que necesitan subir, con ello evitan el costo y el retraso de publicar un nuevo catálogo. Los clientes que colocan pedidos tienen precios corrientes cuando eligen sus opciones. Desde la perspectiva de la cadena de suministro, Dell usa esta capacidad para controlar los faltantes de componentes. Debido a su enfoque de venta directa y precio promocional, Dell anima a los clientes a comprar ciertas configuraciones de computadoras, para las cuales existen muchos suministros.

Servicio a clientes

El proceso de servicio a clientes les ayuda con respuestas a preguntas respecto al servicio o producto, resuelve problemas y, en general, proporciona información para ayudar a los clientes. Es un punto importante de contacto entre la empresa y sus clientes, que pueden juzgar a la empresa con base en su experiencia con este proceso. El antiguo balance entre costo y calidad; sin embargo, entra en juego, en especial para los centros de llamadas. En un esfuerzo por reducir el costo de su proceso de servicio a clientes, muchas empresas han optado por remplazar el servicio de agentes con los sistemas automáticos, que con frecuencia requieren que los clientes realicen una secuencia agotadora de opciones que algunas veces solo llevan a la frustración. Otras empresas están utilizando Verbots® o "robots verbales" que están respaldados por una inteligencia artificial compleja. Tienen personalidades, preguntan y responden a preguntas y, en algunos casos, son casi indistinguibles de una persona en el teléfono. De cualquier modo, la mayoría de los clientes y otros que buscan información acerca



Sherwin Crasto/Reuters/Corbis

Muchas empresas han subcontratado sus procesos de servicio a clientes, en particular si el servicio a clientes puede resolverse por teléfono. En la foto, empleados de un centro de llamadas en la ciudad sureña de Bangalore, India, proporcionan el servicio de apoyo a clientes internacionales.

de un servicio o producto prefieren hablar con personas. En consecuencia, al considerar los costos involucrados, muchas compañías han expandido su cadena de suministro subcontratando el proceso de servicio a clientes con un sitio en otro país donde el costo de la mano de obra es bajo. En este sentido, India ha respondido en grande a la necesidad internacional de los centros de llamadas de bajo costo. Por supuesto, el gran riesgo al subcontratar este proceso o parte de él, es que la empresa pierde cierto control sobre un proceso que tiene una interfaz directa con sus clientes. Esta consideración debe ponderarse con cuidado en el análisis final.

Palancas para mejorar el desempeño de la cadena de suministro

Ahora que hemos analizado un marco de trabajo para las cadenas de suministro integradas, podemos regresar a los problemas ocasionados por la dinámica de las cadenas de suministro y cómo al integrarlas se mitiga el bajo desempeño por la dinámica, como el efecto látigo. En esta sección planteamos algunas palancas que se pueden utilizar con las cadenas de suministro integradas para mejorar el desempeño y revelar las medidas de desempeño importantes para rastrear las operaciones de la cadena de suministro.

Palancas

Las cadenas de suministro integradas facilitan la aplicación de las siguientes opciones para la mejora completa del desempeño.

- *Compartir datos*: una fuente de dinámicas en las cadenas de suministro es la falta de visibilidad de la demanda del usuario final por los proveedores río arriba en la cadena. Para facilitar la planeación a todos los niveles de la cadena de suministro, los datos de punto de venta que registran las compras reales de los clientes del servicio o producto final, se pueden compartir con todos los proveedores. También se dispone de la RFID para dar seguimiento a las cantidades en inventario en toda la cadena.
- *Actividades colaborativas*: trabajar de cerca con los clientes y proveedores en la planeación de la demanda y los programas de seguridad y salud ambiental, lo mismo que en el proceso de colaboración del diseño, mejora los flujos de información y el cuidado del ambiente y reduce las sorpresas por los picos de demanda debidos a promociones o residuos de suministros por productos y servicios mal diseñados.
- *Reducir los tiempos de entrega de reabastecimientos*: mejorar los procesos internos y trabajar con los proveedores para reducir los tiempos de entrega permite a la empresa esperar más antes de reaccionar a un cambio en los niveles de demanda, mitigando con ello el efecto látigo. Además, los tiempos de entrega más cortos llevan a menores inventarios en tránsito.
- *Reducir los tamaños de lote ordenados*: trabajar en la manera de reducir los costos asociados con ordenar, transportar y recibir inventario en toda la cadena de suministro disminuirá los tamaños de lote y con ello la fluctuación en el tamaño de las órdenes.
- *Racionar los inventarios pequeños*: cuando hay escasez o faltantes, los clientes algunas veces inflan artificialmente sus órdenes para protegerse, solo para cancelarlas después cuando los faltantes se alivian. Para contrarrestar este comportamiento, los proveedores pueden racionar los inventarios pequeños a los consumidores con base en sus ventas pasadas, en lugar de sus órdenes actuales.
- *Utilizar precios bajos todos los días (PBTD)*: las promociones o los precios con descuento fomentan los picos en la demanda. Utilizar un programa de precios estable como el PBTD, como lo hace Walmart, desanima a los clientes a comprar en exceso a precios de descuento el inventario excesivo para que ellos puedan ofrecer precios reducidos, práctica que se llama *compra adelantada*. Tener PBTD nivela la demanda.
- *Ser cooperativo y confiable*: ser cooperativo en la solución de problemas de suministro y proporcionar información confiable reduce costos para todos los miembros de la cadena de suministro y mitiga los problemas ambientales y los efectos perjudiciales de la dinámica de la cadena de suministro.

Medidas de desempeño

Es importante vigilar el desempeño de las cadenas de suministro para ver qué mejoras pueden realizarse o para medir el impacto de aplicar las palancas. Los administradores de la cadena de suministro vigilan el desempeño midiendo costos, tiempo, calidad e impacto ambiental. La tabla 12.1 contiene ejemplos de medidas de desempeño de uso común para tres procesos de la cadena de suministro. Los administradores recolectan datos de estas medidas y las siguen para observar cambios en el nivel o dirección. Las gráficas de control estadístico de procesos ayudan a determinar *si los cambios son estadísticamente significativos*.

Las cadenas de suministro integradas son herramientas poderosas para lograr competitividad en muchas medidas de desempeño. En la actualidad, las preocupaciones respecto al ambiente indican a los administradores de las cadenas de suministro que observen con cuidado sus operaciones y las de sus proveedores. En el capítulo 13, "Sustentabilidad de la cadena de suministro y logística humanitaria", se estudia el impacto de las preocupaciones ambientales sobre las cadenas de suministro y cómo se pueden usar las cadenas de suministro integradas para aliviar algunas inquietudes y todavía ser rentables.

TABLA 12.1 | MEDIDAS DEL PROCESO DE LA CADENA DE SUMINISTRO

Relación con el cliente	Satisfacción de órdenes	Relación con el proveedor
■ Porcentaje de órdenes tomadas con precisión	■ Porcentaje de órdenes incompletas enviadas	■ Porcentaje de entregas a tiempo del proveedor
■ Tiempo para completar el proceso de colocación de órdenes	■ Porcentaje de órdenes enviadas a tiempo	■ Tiempos de entrega del proveedor
■ Satisfacción del cliente con el proceso de colocación de órdenes	■ Tiempo para satisfacer una orden	■ *Porcentaje de defectos en servicios y materiales comprados*
■ Evaluación del cliente sobre el cuidado ambiental de la empresa	■ Porcentaje de servicios fallidos o artículos devueltos	■ Costo de servicios y materiales comprados
	■ Costo de producir el servicio o artículo	■ Niveles de inventario de suministros y componentes comprados
	■ Satisfacción del cliente con el proceso de satisfacción de órdenes	■ Evaluación de la colaboración del proveedor en la simplificación y conversión de desperdicio
	■ Niveles de inventario de trabajo en proceso y bienes terminados	■ Cantidad de transferencia de tecnologías ambientales a los proveedores
	■ Cantidad de gases de invernadero emitidos al aire	

REPASO DE LAS METAS DE APRENDIZAJE

1. **Identificar las causas importantes de la dinámica en una cadena de suministro.** La figura 12.1 muestra la interconexión de las cadenas de suministro, que es el motor de la dinámica de las mismas. La sección "Dinámica de la cadena de suministro", pp. 413-416, explica las causas importantes internas y externas. La figura 12.3 muestra cómo la volatilidad del volumen y la demanda semanal de SKU pueden ser factores clave en el diseño de la cadena de suministro.
2. **Explicar la manera en que las cadenas de suministro integradas pueden mitigar la dinámica en ellas.** Véase la sección "Cadenas de suministro integradas", pp. 415-416 y las figuras 12.4 y 12.5, que muestran los marcos de trabajo integradores.
3. **Explicar la naturaleza y propósito de los procesos anidados clave dentro del desarrollo de nuevos servicios o productos, las relaciones con proveedores, la satisfacción de órdenes y los procesos de relación con el cliente.** Debido a su importancia, cada uno de estos procesos tiene una sección mayor en este capítulo.
4. **Utilizar un análisis de costo total anual y una matriz de preferencias para seleccionar a los proveedores y la regla de decisión del valor esperado para determinar la capacidad de *logística*.** *Véase la sección "Proceso de relación con el proveedor", pp. 417-424.* Estudie el ejemplo 12.1 de análisis de costo total, el ejemplo 12.2 del uso de matrices de preferencia y el ejemplo 12.3 de la aplicación del modelo de valor esperado. Obtenga ayuda adicional en los tres problemas resueltos.
5. **Identificar las palancas clave y las medidas de desempeño importantes que resultan útiles para mejorar el desempeño en la cadena de suministro.** Véase la sección "Palancas para mejorar el desempeño de la cadena de suministro", pp. 430-431. La tabla 12.1 contiene ejemplos de medidas de desempeño de la cadena de suministro.

MyOMLab le ayuda a desarrollar habilidades analíticas y evalúa su avance con múltiples problemas sobre selección de proveedores, matriz de preferencias y costo anual esperado.

Recursos de MyOMLab	Títulos	Vínculos con el libro
Video	*Sourcing Strategy at Starwood*	Proceso de relación con el proveedor; Palancas para mejorar el desempeño de la cadena de suministro
	Pearson Educación: tecnología de la información	Proceso de relación con el cliente
Solvers de OM Explorer	Matriz de preferencias	Proceso de relación con el proveedor; ejemplo 12.2 (p. 420); problema resuelto 2 (p. 433)
	Teoría de decisiones	Proceso de satisfacción de órdenes; ejemplo 12.3 (p. 427); problema resuelto 3 (pp. 433-434)

Recursos de MyOMLab	Títulos	Vínculos con el libro
Tutores de OM Explorer	A.3 Matriz de preferencia	Proceso de relación con el proveedor; ejemplo 12.2 (p. 420); problema resuelto 2 (p. 433)
	A.5 Decisiones bajo riesgo	Proceso de satisfacción de órdenes; ejemplo 12.3 (p. 427); problema resuelto 3 (pp. 433-434)
POM para Windows	Matriz de preferencia	Proceso de relación con el proveedor; ejemplo 12.2 (p. 420); problema resuelto 2 (p. 433)
	Tablas de decisión	Proceso de satisfacción de órdenes; ejemplo 12.3 (p. 427); problema resuelto 3 (pp. 433-434)
Tours virtuales	Monaco Coach Corporation	Todo el capítulo
Ejercicio en Internet	1. Dell	Proceso de relación con el proveedor; Proceso de relación con el cliente
	2. Federal Mogul	Proceso de relación con el proveedor; Proceso de relación con el cliente
Ecuaciones clave		
Biblioteca de imágenes		

Ecuaciones clave

1. Costo total anual = pD + costos de flete + $(Q/2 + \bar{d}L)H$ + costos administrativos
2. *Valor esperado de una alternativa* = (probabilidad de que ocurra un nivel de demanda) (pago por usar la alternativa si ese nivel de demanda se materializa) sumado sobre todos los niveles de demanda posibles.

Términos clave

abastecimiento único 422
análisis de valor 421
comercio electrónico (comercio-e) 428
compra verde 420
compras 417
concentradores de catálogos 422
cruce de andén 427
efecto látigo 413
identificación por radio frecuencia (RFID) 424
ingeniería concurrente 417
integración de la cadena de suministro 412
intercambio 423
intercambio electrónico de datos (EDI) 422
inventarios administrados por el vendedor (VMI) 424
modelo SCOR 415
orientación competitiva 421
orientación cooperativa 422
participación temprana del proveedor 421
preabastecimiento 421
subasta 423

Problema resuelto 1

ABC Electric Repair es una instalación de reparación para varios fabricantes de electrodomésticos importantes. ABC quiere encontrar un proveedor de bajo costo para un interruptor de relé usado en muchos aparatos. Los requerimientos anuales para el relé (D) son 100,000 unidades. ABC opera 250 días al año. Se dispone de los siguientes datos de dos proveedores, Kramer y Sunrise, respecto a la parte:

	Costos de flete cantidad enviada (Q)					
Proveedor	**2,000**	**10,000**	**Precio/unidad (p)**	**Costo de mantener/ unidad (H)**	**Tiempo de entrega (L) (días)**	**Costos administrativos**
Kramer	$30,000	$20,000	$5.00	$1.00	5	$10,000
Sunrise	$28,000	$18,000	$4.90	$0.98	9	$11,000

¿Cuál proveedor proporcionará el costo total anual más bajo?

SOLUCIÓN
Los requerimientos diarios para el relé son:

$$\bar{d} = 100{,}000/250 = 400 \text{ unidades}$$

Debemos calcular el costo total anual para cada alternativa:

Costo total anual = costo de materiales + costos de flete + costos de inventario + costos administrativos

= pD + costos de flete + $(Q/2 + \bar{d}L)H$ + costos administrativos

Kramer

$Q =$ 2,000: ($5.00) (100,000) + $30,000 + (2,000/2 + 400(5))($1) + $10,000 = $543,000

$Q =$ 10,000: ($5.00) (100,000) + $20,000 + (10,000/2 + 400(5))($1) + $10,000 = $537,000

Sunrise

$Q =$ 2,000: ($4.90) (100,000) + $28,000 + (2,000/2 + 400(9))($0.98) + $11,000 = $533,508

$Q =$ 10,000: ($4.90) (100,000) + $18,000 + (10,000/2 + 400(9))($0.98) + $11,000 = $527,428

El análisis revela que con Sunrise y una cantidad de envío de 10,000 unidades se obtiene el costo total más bajo.

Problema resuelto 2

ABC Electric Repair quiere seleccionar un proveedor con base en el costo total anual, calidad constante y rapidez de entrega. La siguiente tabla muestra los pesos asignados por la administración a cada criterio (total de 100 puntos) y las calificaciones asignadas a cada proveedor (excelente = 5, malo = 1).

		Calificaciones	
Criterio	**Peso**	**Kramer**	**Sunrise**
Costo total anual	30	4	5
Calidad constante	40	3	4
Rapidez de entrega	30	5	3

¿Qué proveedor debe seleccionar ABC, dados estos criterios y calificaciones?

SOLUCIÓN
Utilizando el enfoque de la matriz de preferencia, las calificaciones ponderadas para cada proveedor son:

Kramer: $WS = (30 \times 4) + (40 \times 3) + (30 \times 5) = 390$

Sunrise: $WS = (30 \times 5) + (40 \times 4) + (30 \times 3) = 400$

Con base en las calificaciones ponderadas, ABC debe selecciona a Sunrise, aun cuando el desempeño de la rapidez de entrega sería mejor con Kramer.

Problema resuelto 3

Schneider Logistics Company ha construido un nuevo almacén en Columbus, Ohio, para facilitar la consolidación de los envíos a clientes en la región. George Schneider debe determinar cuántos equipos de trabajadores para el muelle de carga debe contratar para manejar las operaciones de cruce de andén y las otras actividades del almacén. Cada equipo cuesta $5,000 a la semana en salarios y gastos generales. La capacidad adicional se puede subcontratar a un costo de $8,000 por equipo a la semana. Cada equipo, ya sea contratado o subcontratado, satisface 200 horas de trabajo a la semana. Los requerimientos de mano de obra para la nueva instalación son inciertos. La administración estimó las siguientes probabilidades para los requerimientos:

Requerimientos (horas/sem)	200	400	600
Número de equipos	1	2	3
Probabilidad	0.20	0.50	0.30

¿Cuántos equipos debe Schneider contratar?

SOLUCIÓN

Utilizamos la regla de decisión del valor esperado calculando primero el costo para cada opción por cada nivel de requerimientos posible y luego con las probabilidades que determinan el valor esperado para cada opción. La opción con el costo esperado más bajo es el que implementará Schneider. Mostramos el enfoque con la opción de "un equipo" contratado.

Un equipo contratado

C(200) = $5,000
C(400) = $5,000 + $8,000 = $13,000
C(400) = $5,000 + $8,000 + $8,000 = $21,000

Valor esperado

(Un equipo) = 0.20($5,000) + 0.50 ($13,000) + 0.30 ($21,000) = $13,800

Se presenta una tabla con los resultados completos.

	Requerimientos de mano de obra semánales			
Contratado	**200 hrs**	**400 hrs**	**600 hrs**	**Valor esperado**
Un equipo	$5,000	$13,000	$21,000	$13,800
Dos equipos	$10,000	$10,000	$18,000	$12,400
Tres equipos	$15,000	$15,000	$15,000	$15,000

Según la regla de decisión del valor esperado, Schneider debe contratar dos equipos en el almacén.

Preguntas para análisis

1. La dinámica de la cadena de suministro puede ocasionar costos excesivos y mal servicio al cliente. Explique cómo el rediseño de una cadena de suministro ayudaría a mitigar los efectos de la dinámica en la misma.
2. Chrysler y General Motors compiten de manera vigorosa entre sí en muchos mercados de automóviles y camiones. Cuando José Ignacio López era vicepresidente de compras para GM, estableció que sus compradores no debían aceptar invitaciones a comer de sus proveedores. Thomas Stalcamp, jefe de compras de Chrysler en ese tiempo, instruyó a sus compradores que debían invitar a sus proveedores a comer. Racionalice estas dos directivas a la luz de las relaciones con el proveedor y el impacto sobre la administración de la cadena de suministros.
3. Las empresas Walmart, General Electric, Chase Manhattan y Boeing tienen mucha influencia en sus respectivas cadenas de suministro por el poder que tienen. Explique la manera en que las empresas con mucho poder pueden influir en la integración de la cadena de suministro.
4. En el capítulo 8, "Sistemas esbeltos", analizamos las consideraciones del inventario y la cadena de suministro como lotes pequeños, relaciones cercanas con los proveedores y calidad en la fuente. ¿Cuáles son las implicaciones de estos principios para la integración de la cadena de suministro?

Problemas

El OM Explorer y POM para Windows están disponibles para todos los estudiantes de la décima edición de este libro. Vaya a **www.pearsonhighered.com/krajewski** para bajar estos paquetes de computadora. Si compró MyOMLab, también tiene acceso al software de modelos activos y mucha ayuda para resolver los problemas siguientes. Verifique con su instructor la mejor manera de usar estos recursos. En muchos casos, el instructor le pedirá que comprenda cómo se hacen los cálculos a mano. Por lo menos, el software proporciona una verificación de sus cálculos. Cuando los cálculos son muy complejos y la meta es interpretar los resultados al tomar una decisión, el software sustituye por completo los cálculos manuales.

1. Horizon Cellular fabrica teléfonos celulares para uso exclusivo de su red de comunicación. La administración debe seleccionar un proveedor de tarjetas de circuitos para un nuevo teléfono que se lanzará pronto al mercado. Los requerimientos anuales son 50,000 unidades y la planta de Horizon opera 250 días por año. Los datos para tres proveedores se dan en la tabla 12.2.

   ¿Qué proveedor y qué cantidad de envío proporcionará el costo total más bajo para Horizon Cellular?
2. Eight Flags opera varios parques de diversiones en el Medio Oeste. La compañía almacena aceite para maquinaria con el que da servicio a las máquinas de muchos juegos del parque. Eight Flags necesita 30,000 galones de aceite al año; los parques están abiertos 50 semanas del año. La administración no está contenta con el proveedor actual y ha obtenido dos cotizaciones de otros proveedores. Los datos están en la tabla 12.3.

   ¿Qué proveedor y qué cantidad de envío proporcionarán el menor costo para Eight Flags?

TABLA 12.2 | DATOS PARA LOS PROVEEDORES DE HORIZON CELLULAR

	Costo anual de flete Cantidad de envío					
Proveedor	**10,000**	**20,000**	**Precio/unidad**	**Costo anual de mantener/unidad**	**Tiempo de entrega (días)**	**Costo administrativo anual**
Abbott	$10,000	$7,000	$30	$6.00	4	$10,000
Baker	$12,000	$9,000	$28	$5.60	7	$12,000
Carpenter	$9,000	$6,500	$31	$6.20	3	$9,000

TABLA 12.3 | DATOS PARA LOS PROVEEDORES DE EIGHT FLAGS

	Costo anual de flete Cantidad de envío						
Proveedor	**5,000**	**10,000**	**15,000**	**Precio/ unidad**	**Costo anual de mantener/unidad**	**Tiempo de entrega (días)**	**Costo administrativo anual**
Sharps	$5,000	$2,600	$2,000	$4.00	$0.80	4	$4,000
Winkler	$5,500	$3,200	$2,900	$3.80	$0.76	6	$5,000

3. Bennet Company compra una de sus materias primas esenciales a tres proveedores. La política actual de Bennet es distribuir sus compras por igual entre los tres. El hijo del dueño, Benjamín Bennet, se acaba de graduar de una escuela de negocios. Propone que estos proveedores se califiquen (números altos significan buen desempeño) en seis criterios de desempeño ponderados como se muestra en la tabla. Propone una calificación total de 0.60 como barrera para revisar a los proveedores. La política de compras se revisará para ordenar materias primas de los proveedores con las calificaciones más altas que la barrera, en proporción a sus calificaciones.

		Calificación		
Criterio de desempeño	**Peso**	**Proveedor A**	**Proveedor B**	**Proveedor C**
1. Precio	0.2	0.6	0.5	0.9
2. Calidad	0.2	0.6	0.4	0.8
3. Entrega	0.3	0.6	0.3	0.8
4. Instalaciones de producción	0.1	0.5	0.9	0.6
5. Protección al ambiente	0.1	0.7	0.8	0.6
6. Posición financiera	0.1	0.9	0.9	0.7

   a) Utilice una matriz de preferencias para calcular la calificación ponderada total de cada proveedor.
   b) ¿Qué proveedor(es) pasa(n) la barrera de la calificación total? Con la política propuesta por el joven Bennet, ¿qué proporción de órdenes recibiría cada proveedor?
   c) ¿Qué ventajas tiene la política propuesta sobre la política actual?
4. Beagle Clothiers utiliza una calificación ponderada para evaluar y seleccionar a sus proveedores de prendas de moda. Cada proveedor está calificado en una escala de 10 puntos (10 = más alta) en cuatro criterios: precio, calidad, entrega y flexibilidad (para ajustarse a los cambios en cantidad y tiempo). Debido a la volatilidad del negocio en el que Beagle opera, la flexibilidad tiene el doble de peso que cada uno de los otros criterios, que tienen pesos iguales. La tabla que sigue muestra las calificaciones de tres proveedores potenciales para los cuatro criterios. Según la calificación más alta, ¿qué proveedor debe seleccionarse?

Criterio	**Proveedor A**	**Proveedor B**	**Proveedor C**
Precio	8	6	6
Calidad	9	7	7
Entrega	7	9	6
Flexibilidad	5	8	9

5. Wingman Distribution Company está expandiendo su cadena de suministro para incluir a un nuevo centro de distribución en South Bend. Una decisión clave es el número de camiones para la instalación. En el modelo particular que Wingman está considerando puede utilizarse 8,000 millas al mes y costará $1,500 al mes en costos de capital. Además, cada milla que usa un camión cuesta $0.90 por mantenimiento. Una empresa de renta de camiones en el área le rentaría los camiones a $1.40 por milla. Dada la distribución de los requerimientos probables de camiones, la administración tiene tres alternativas que considerar, como se muestra en la tabla:

Requerimientos mensuales (millas)	40,000	80,000	120,000
Probabilidad	0.30	0.40	0.30
Tamaño de flota (camiones)	5	10	15

   ¿Qué tamaño de flota da el costo esperado mensual más bajo para Wingman?
6. Sanchez Trucking ha experimentado retrasos en sus operaciones de almacén. La administración contrató un consultor para encontrar la razón por la que el servicio de entregas a los negocios locales toma más tiempo que el debido. El consultor redujo el problema al número de brigadas de

trabajo en la carga y descarga de los camiones. Cada brigada consiste en seis empleados que trabajan como equipo en una variedad de tareas; cada empleado trabaja 40 horas a la semana. Sin embargo, los costos también son de interés. El consultor aconseja a la administración que esta podría suministrar brigadas de trabajo con empleados de corto plazo, a un costo mayor, para cubrir las necesidades inesperadas sobre una base semanal. Cada brigada contratada de manera permanente por Sanchez cuesta $3,200 por semana en salarios y prestaciones, mientras que una brigada de empleados eventuales cuesta $5,000 por semana. Para complicar la decisión, los requerimientos por hora/semana para las brigadas son inciertos por la volatilidad en el número de entregas que se harán. Deliberando con la administración, el consultor llegó a los siguientes datos:

Requerimientos (horas-trabajo)	720	960	1,200	1,440
Probabilidad	0.2	0.4	0.3	0.1
Número de brigadas	3	4	5	6

Si el consultor quiere ofrecer una solución que minimice el costo semanal esperado para Sanchez, ¿cuántas brigadas de trabajo debe tener Sanchez en su nómina permanente?

Problemas avanzados

7. Bradley Solutions y Alexander Limited son dos proveedores establecidos de herramientas poco costosas. Weekend Projects es una cadena nacional de tiendas dirigidas al componedor ocasional que prefiere hacer el trabajo rápido en lugar de invertir en una caja de herramientas de calidad. Weekend Projects quiere encontrar a un proveedor para una herramienta específica que promete venderse en grande. Las ventas esperadas anuales son 100,000 unidades. Los almacenes de Weekend operan 50 semanas al año. La administración ha recolectado datos de dos proveedores, que se encuentran en la primera tabla.

a) ¿Cuál de los dos proveedores proporcionará el costo anual más bajo para Weekend Projects? ¿Qué cantidad de envío sugeriría?

b) Antes de que la administración pueda tomar una decisión, surge otra opción. Zelda Tools ofrece un juego de herramientas por solo $8.00; sin embargo, el tiempo de entrega es más largo que el de los otros dos proveedores. Zelda es un nuevo proveedor y no lleva mucho tiempo en la industria. Los datos adicionales para Zelda están en la segunda tabla.

La administración evalúa los costos administrativos de manejar el contrato con Zelda. ¿Cuál es el nivel más bajo de costos administrativos con el cual daría lo mismo para Weekend Projects contratar a Zelda que la opción elegida en el inciso *a*)?

	Costos de flete-Cantidad de envío						
Proveedor	10,000	25,000	50,000	Precio/ unidad	Costo de mantener anual/unidad	Tiempo de entrega (sem)	Costo administrativo anual
Bradley	$35,000	$25,000	$18,000	$8.10	$1.62	6	$10,000
Alexander	$40,000	$28,000	$19,000	$8.10	$1.62	4	$15,000

	Costos de flete-Cantidad de envío					
Proveedor	10,000	25,000	50,000	Precio/unidad	Costo de mantener anual/unidad	Tiempo de entrega (sem)
Zelda	$45,000	$25,000	$17,000	$8.00	$1.60	7

8. Wanda Lux debe seleccionar un proveedor para una botella de plástico y el dosificador apropiado para su nuevo champú para pelo. Tres proveedores enviaron cotizaciones; a petición de Wanda, todas las cotizaciones son por una cantidad de envío de 20,000 botellas con requerimientos anuales de 40,000 unidades. La fábrica de Wanda opera 250 días al año. La primera tabla muestra cada precio del proveedor, el costo estimado de flete anual y los tiempos de entrega actuales; la administración ha agregado estimaciones de los costos de mantener y los costos administrativos de supervisión para cada proveedor.

Sin embargo, más allá de los costos, Wanda tiene otros tres criterios que considera importantes en la selección de un proveedor. La segunda tabla muestra todos los criterios, sus pesos y las calificaciones para todos ellos, excepto los costos totales, donde una calificación de 1.0 indica "mal" y una de 10 indica "superior". Como los tres proveedores han hecho negocios con Wanda Lux, la administración asignará una calificación de 10 al proveedor con el menor costo total anual, una de 8.5 para el siguiente costo más bajo y una de 7.0 para el peor costo de los tres.

a) ¿Cuál de los tres proveedores tendrá el costo anual más bajo para Wanda Lux?

b) Dados los criterios de Wanda y el sistema de ponderaciones, ¿a cuál proveedor debe contratar Wanda?

Proveedor	Costos de flete	Precio/ unidad	Costo de mantener anual/unidad	Tiempo de entrega (días)	Costo administrativo anual
Dover Plastics	$3,500	$5.10	$1.02	15	$4,000
Evan & Sons	$3,000	$5.05	$1.01	12	$6,000
Farley, Inc.	$4,500	$5.00	$1.00	20	$3,000

Criterio	Peso	Puntuación		
		Dover	Evan	Farley
Costo total	30	?	?	?
Calidad constante	30	9	9	7
Entrega a tiempo	20	8	9	9
Ambiente	20	8	7	7

9. Adelie Enterprises está explorando un nuevo servicio para proporcionar la entrega semanal de artículos de abarrotes a domicilio en el área de Greenwood. Los clientes de la compañía colocan órdenes por Internet y el equipo de Adelie ensambla y entrega las órdenes en cajas de cartón diseñadas para ello. La administración, interesada en localizar un proveedor que pueda proporcionar las cajas a un precio accesible y de manera eficiente, ha descubierto que la habilidad de cada proveedor potencial para satisfacer los requerimientos de la compañía está influenciada por el nivel de demanda. La siguiente tabla proporciona los criterios de selección del vendedor para Adelie, los pesos de los criterios y las calificaciones (1-10, con 10 la más alta), con la suposición de que se genera una demanda baja, media o alta para el servicio.

CALIFICACIONES DE PROVEEDORES CON DEMANDA BAJA, MODERADA O ALTA

	Peso	Proveedor local			Proveedor nacional			Proveedor internacional		
		Baja	Moderada	Alta	Baja	Moderada	Alta	Baja	Moderada	Alta
Calidad del producto	0.35	8	6	5	7	7	7	6	6	6
Rapidez de entrega	0.15	9	7	3	6	6	6	4	5	7
Precio del producto	0.25	5	5	3	5	7	9	7	7	9
Impacto ambiental	0.25	9	9	9	7	7	7	8	8	8

a) ¿Cuál proveedor debe seleccionar Adelie si hay una demanda baja para el nuevo servicio; cuál proveedor debe elegir si hay una demanda moderada y cuál si hay una demanda alta?

b) ¿Qué proveedor se selecciona si Adelie evalúa cada alternativa usando un criterio de decisión Maximin (véase el suplemento A, "Toma de decisiones")?

c) ¿Qué proveedor logra la calificación esperada más alta si la probabilidad de demanda baja es 35%, de demanda moderada es 45% y de demanda alta es 20 por ciento?

10. Adelie Enterprises (del problema 9) ha decidido eliminar al proveedor internacional de sus opciones. Más aún, ha decidido ordenar las cajas en lotes de 10,000 para optimizar el uso del espacio de almacén disponible en su instalación de distribución. Para considerar de manera más completa los balances de costo/volumen asociados con la selección del proveedor local o nacional, la administración recolectó los siguientes datos. Adelie da servicio a sus clientes 250 días al año.

	Nivel de demanda	Demanda	Precio/unidad	Costo de flete/1,000	Costo de mantener/ unidad	Tiempo de entrega (días)	Costos administrativos
Proveedor local	Bajo	50,000	$1.25	$20.00	$0.10	1	$15,000.00
	Moderado	100,000	$1.25	$20.00	$0.10	1	$15,000.00
	Alto	250,000	$1.25	$20.00	$0.10	1	$15,000.00
Proveedor nacional	Bajo	50,000	$1.35	$120.00	$0.10	15	$12,500.00
	Moderado	100,000	$1.25	$120.00	$0.10	15	$12,500.00
	Alto	250,000	$1.00	$120.00	$0.10	15	$12,500.00

a) Con base solo en el costo total, ¿qué proveedor debe seleccionar si existe una demanda baja para el nuevo servicio de Adelie; qué proveedor debe seleccionar con demanda moderada y con demanda alta?

b) ¿Qué proveedor logra el costo esperado más bajo si la probabilidad de la demanda es 35%, de demanda moderada es 45% y de demanda alta es 20 por ciento?

CASO EN VIDEO Estrategia para la fuente en Starwood

Toallas de baño, televisores, frutas y verduras frescas, uniformes; a simple vista, estos artículos no parecen tener relación unos con otros. Seguro, existen en casi todas las casas, aun cuando tal vez se hayan comprado por separado. Aún así, para el administrador de la cadena de suministros en la industria de la hospitalidad, no solo tienen relación, sino que su compra puede ser crucial para obtener una ventaja competitiva.

Solo pregunte a Paul Davis, vicepresidente de fuentes estratégicas de las operaciones en Norteamérica de Starwood. Con cientos de hoteles y complejos vacacionales en Estados Unidos, Canadá y el Caribe, la meta de Davis es crear la mejor organización de cadenas de suministro de la industria de la hospitalidad. Los artículos adquiridos por su organización no solo incluyen bienes que se reabastecen como frutas y alimentos frescos, también se extiende a las fuentes de contratos nacionales de bienes no perecederos como toallas de baño, electrónicos, uniformes para el personal, energía y servicios contratados.

Es sencillo confundir los procesos de la cadena de suministro con la rutina de procuración de bienes y servicios. La cadena de suministro de Starwood sin duda incluye contratos, pero es mucho más: consistente en la relación con el cliente, la satisfacción de órdenes y los procesos de relación con el cliente. Existen fuertes vínculos entre los proveedores río arriba de servicios, materiales e información y los clientes de los hoteles y complejos de Starwood. Si las relaciones río arriba no se manejan con cuidado, puede sufrir la consistencia, calidad y valor río abajo para los huéspedes de Starwood. Como resultado, se dedica un esfuerzo significativo en los procesos anidados dentro de los procesos de relación con el proveedor como colaboración en el diseño, fuentes, negociación, contratación e intercambio de información.

Cualquier número de eventos impulsarán la participación del equipo de cadenas de suministro de Paul Davis:

- Expiración de contratos existentes.
- Marcas de hoteles individuales que buscan nuevos productos.
- Ideas generadas por equipos de diseño de las propiedades de hoteles.
- Nuevas categorías de productos que emergen y necesitan evaluación.
- Un hotel en particular que necesita ayuda con un contrato de servicio local.

Cuando un producto o servicio necesita una fuente, las especificaciones están manejadas por los clientes internos como los chefs de restaurantes, limpieza y mantenimiento. Si el producto o servicio no existe, se buscan proveedores nacionales e internacionales, lo mismo que vendedores regionales o del área, que puedan ayudar a crear al artículo. Algunas veces, buscar fuentes para un artículo existente significa renovar un acuerdo con un proveedor actual. Todavía otras situaciones exigen crear una nueva categoría que no se ha investigado antes, o usar un tercero para ayudar a localizar las fuentes.

Siempre se utiliza la diligencia adecuada al enviar a proveedores potenciales una "solicitud de información" en cualquier forma, ya sea en papel o electrónica. Las respuestas de los proveedores se ingresan en una base de datos para ayudar a Starwood a precalificar a los proveedores. Se busca alguien que encaje, se pide que los proveedores cumplan requerimientos mínimos de viabilidad financiera, calidad, alcance de sus operaciones y sin riesgos legales. Con un grupo de candidatos a proveedores potenciales adecuado, Starwood toma uno de dos caminos: el primero es realizar una subasta inversa donde los vendedores preseleccionados apuestan uno contra otro. Este método se usa con contratos de corto plazo sobre bienes que tienen baja visibilidad para el cliente externo (uniformes de cocina, llaves de cuartos y pintura se manejan de esta manera). La segunda opción es enviar una petición de propuesta que requiere que el vendedor someta sus mejores términos a consideración.

Después de una revisión por el equipo de cadenas de suministro, el vendedor que gana la subasta o quien surge de la actividad de revisión como el mejor ajuste, se llama para la negociación. En todo el proceso de formar relaciones con el proveedor, Starwood llega a conocer a los vendedores, pero se convierte en mucho más personal en este punto en que ambas partes se mueven hacia la conclusión de las negociaciones del contrato.

Starwood mantiene una orientación de cooperación hacia sus relaciones con proveedores, construyendo una sociedad para maximizar el valor para cada parte y asegurar que cada lado está cómodo con los requerimientos de precio, calidad y entrega que ha acordado en el proceso de negociación del contrato. Cuando las negociaciones del contrato terminan, se notifica a las diferentes marcas y comienza el proceso de compra e intercambio de información.

En este punto, puede pensar que el trabajo del equipo de la cadena de suministro está terminado; pero administrar la relación con el proveedor existente después de la firma del contrato es quizá el mayor reto de todos. El contrato del abastecimiento de sábanas y artículos de tela de toalla es un ejemplo perfecto. Pronto, después de finalizar el contrato, un proveedor alternativo se acercó a Starwood con una oferta para surtir bienes de calidad comparable a un precio mucho menor. Los administradores de la cadena de suministro tenían que hacer una elección; continuar el trabajo con el proveedor existente o comprar su contrato y comenzar el abastecimiento con el nuevo proveedor.

PREGUNTAS

1. ¿Debe Starwood mantener una orientación de cooperación o una orientación competitiva con sus proveedores del tipo de artículos descritos aquí?
2. ¿Qué tipos de información debe intercambiar Starwood con sus proveedores de sábanas y toallas? ¿Si Starwood comparte demasiada información, cuál es el riesgo?
3. ¿Cómo abordaría el abastecimiento de las sábanas y toallas? Es decir, ¿utilizaría una subasta inversa o pediría propuestas? ¿En qué circunstancias cambiaría proveedores?
4. Además de realizar un análisis de valor para los servicios que ofrecen sus propiedades, Starwood evalúa el desempeño de sus proveedores contra los parámetros del contrato. Con el proveedor de sábanas y toallas como ejemplo, describa algunas de las métricas que Starwood debe utilizar.

CASO Wolf Motors

John Wolf, presidente de Wolf Motors, acaba de regresar a su oficina después de visitar a su distribuidor automotriz recién contratado por la compañía. Era el cuarto distribuidor en una red que atiende a un área metropolitana de 400,000 personas. Más allá del área metropolitana, pero dentro de los 45 minutos de manejo, hay otras 500,000 personas. Cada distribuidor en la red comercializa una marca diferente de automóvil e históricamente han operado con autonomía.

Wolf estaba especialmente emocionado acerca de este nuevo distribuidor porque era el primer "supermercado de autos" en la red. Los supermercados de automóviles difieren de las agencias tradicionales en que venden varias marcas de vehículos en la misma instalación. El nuevo distribuidor vendía líneas completas de Chevrolet, Nissan y Volkswagen.

Comenzando hace 15 años con la compra de un distribuidor de Dodge en bancarrota, Wolf Motors había crecido de manera estable en tamaño y reputación. Wolf atribuía este éxito a tres factores completamente independientes. El primero era el volumen. Al mantener un alto volumen de ventas y rotar su inventario con rapidez, podía lograr economías de escala, con las cuales reducía los costos y proporcionaba el cliente una gran variedad. El segundo factor era un enfoque de marketing llamado "experiencia de compra sin complicaciones". Cada automóvil tenía una tarjeta con "un precio–menor precio". Los clientes entraban, revisaban y comparaban precios sin que un vendedor insistente se les acercara. Si tenían una pregunta o estaban listos para comprar, a unos pasos del mostrador de servicio al cliente estaba un vendedor conocedor para ayudarles. Por último y tal vez lo más importante según Wolf, estaba el servicio después de la venta. Wolf Motors estableció una reputación sólida de dar servicio, diagnosticar y reparar los vehículos correctamente y a tiempo, desde la primera vez.

La alta calidad del servicio después de la venta dependía de tres componentes esenciales. Primero, estaba la presencia de técnicos de servicio bien capacitados y altamente calificados. Segundo, era el uso de las últimas herramientas y tecnologías para apoyar las actividades de diagnóstico y reparación. Tercero, estaba la disponibilidad del rango completo de refacciones y materiales necesarios para completar el servicio y las reparaciones sin retrasos. Wolf invirtió en capacitación y equipo para asegurar que hubiera personal entrenado y tecnología. Lo que le preocupaba, mientras Wolf Motors crecía, era la continua disponibilidad de las partes y materiales correctos. Esta preocupación ocasionó que se centrara en el proceso de relaciones con los proveedores y la administración de los flujos de partes y materiales para el servicio en la cadena de suministro.

Wolf pensó en las historias de las páginas de negocios de los periódicos que describían el fracaso de compañías que no habían planeado el crecimiento de manera apropiada. Estas compañías se habían salido de sus políticas, procedimientos y sistemas de control existentes. Con la falta de planes para actualizar sus sistemas, las compañías experimentaban un sinfín de problemas que llevaban a ineficiencias y la falta de habilidad para competir con efectividad. No quería que eso le pasara a Wolf Motors.

Cada uno de los cuatro distribuidores compraba sus propias partes y materiales. Las compras se basaban en pronósticos derivados de los datos de demanda históricos, que tomaban en cuenta factores como la estacionalidad. Las baterías y alternadores tenían una tasa alta de falla en el invierno y las partes para el aire acondicionado tenían gran demanda en el verano. De igual manera, el refrigerante se necesitaba en la primavera para dar servicio a los aires acondicionados para los meses de verano, mientras que el anticongelante se necesitaba en el otoño para preparar los automóviles para el invierno. Los pronósticos también se ajustaban por ventas especiales de vehículos y promociones de servicio, que aumentaban la necesidad de materiales basados en la preparación de vehículos nuevos y el servicio de otros.

Algo que dificultaba las compras de partes y materiales de servicio era el tremendo número de partes diferentes que había que tener a la mano. Algunas se usaban para dar servicio a los automóviles y otras se vendían en el mostrador. Algunas tenían que comprarse con los fabricantes de vehículos y sus mayoristas certificados y para apoyar, por ejemplo la promoción de "partes GM garantizadas". Otras partes y materiales como aceites, lubricantes y bandas de abanicos podían comprarse con cualquier número de proveedores. El departamento de compras tenía que recordar que el éxito de la distribuidora dependía de: **1.** bajar los costos para apoyar el concepto de sin complicaciones, un precio–menor precio y **2.** proporcionar las partes correctas en el momento correcto para apoyar el servicio después de la venta rápido y confiable.

Mientras Wolf pensaba en la compra de partes y materiales, dos cosas pasaban por su mente: la cantidad de espacio disponible para almacenamiento de partes y el nivel de recursos financieros disponibles para invertir en partes y materiales. La adquisición de la concesión del supermercado de vehículos incrementó la tensión en las finanzas y el espacio, con la necesidad de apoyar tres líneas diferentes de automóviles en la misma instalación. La inversión en dólares se volvía escasa y el espacio estaba en demanda. Wolf se preguntaba qué podía hacer en el área de compras para abordar algunas de estas preocupaciones y aliviar parte de las presiones.

PREGUNTAS

1. ¿Qué recomendaciones haría a John Wolf respecto a estructurar el proceso de relaciones con el proveedor para la red de distribuidores de Wolf Motors?
2. ¿Cómo podrían diferir las políticas y procedimientos de compras dado que las distribuidoras compran diferentes tipos de partes y materiales de servicio (por ejemplo, lubricantes contra partes GM genuinas)?
3. ¿Cómo ayudaría a John Wolf el diseño y la integración de la cadena de suministro, para reducir los requerimientos de inversión y espacio al tiempo que mantener niveles adecuados de servicio?

Fuente: este caso fue preparado por el Dr. Brooke Saladin, de Wake Forest University, como base para discusión en el salón de clases. Copyright @ Brooke Saladin. Utilizado con permiso.

Referencias seleccionadas

Benton, W.C. *Purchasing and Supply Management*, 2a. ed., Nueva York: McGraw-Hill, 2010.

Bowersox, Donald. *Supply Chain Logistics Management*, 3a. ed., Nueva York: McGraw-Hill, 2010.

Brienzi, Mark y Dr. Sham Kekre. "How Kodak Transformed its Service Parts Supply Chain". *Supply Chain Management Review* (octubre, 2005), pp. 25-32.

Chopra, Sunil y Peter Meindl. Supply Chain Management, 4a. ed., Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2010.

Chopra, Sunil y ManMohan S. Sodhi. "Looking for the Bang from the RFID Buck". *Supply Chain Management Review* (mayo/junio, 2007), pp. 34-41.

Cook, Robert L., Brian Gibson y Douglas MacCurdy. "A Lean Approach to Cross-Docking". *Supply Chain Management Review* (marzo, 2005), pp. 54-59.

Fleck, Thomas. "Supplier Collaboration in Action at IBM". *Supply Chain Management Review* (marzo, 2008), pp. 30-37.

Freund, Brian C. y June M. Freund. "Hands-On VMI". *APICS—The Performance Advantage* (marzo, 2003), pp. 34-39.

Fugate, Brian S. y John T. Mentzer. "Dell's Supply Chain DNA". *Supply Chain Management Review* (octubre, 2004), pp. 20-24.

Handfield, Robert B. y Kevin McCormack. "What you Need to Know About Sourcing From China". *Supply Chain Management Review* (septiembre, 2005), pp. 28-33.

Hartvigsen, David. *SimQuick: ProcessSimulation with Excel*, 2a. ed., Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2004.

Lee, Hau L. "The Triple-A Supply Chain". *Harvard Business Review* (octubre, 2004), pp. 102-112.

Liker, Jeffrey K. y Thomas Y. Choi. "Building Deep Supplier Relationships". *Harvard Business Review* (diciembre, 2004), pp. 104-113.

Malik, Yogesh, Alex Niemeyer y Brian Ruwadi. "Building the Supply Chain of the Future". *McKinsey Quarterly* (enero, 2011), pp. 1-10.

Maloni, M. J. y W.C. Benton. "Power Influences in the Supply Chain". *Journal of Business Logistics*, vol. 21 (2000), pp. 49-73.

Melnyk, Steven, Robert Sroufe y Roger Calantone. "Assessing the Impact of Environmental Management Systems on Corporate and Environmental Performance". *Journal of Operations Management*, vol. 21, núm. 3 (2003).

Miller, Jamey. "Shared Success: Working Together to Find the Value of VMI". *APICS Magazine* (noviembre/diciembre 2007), pp. 37-39.

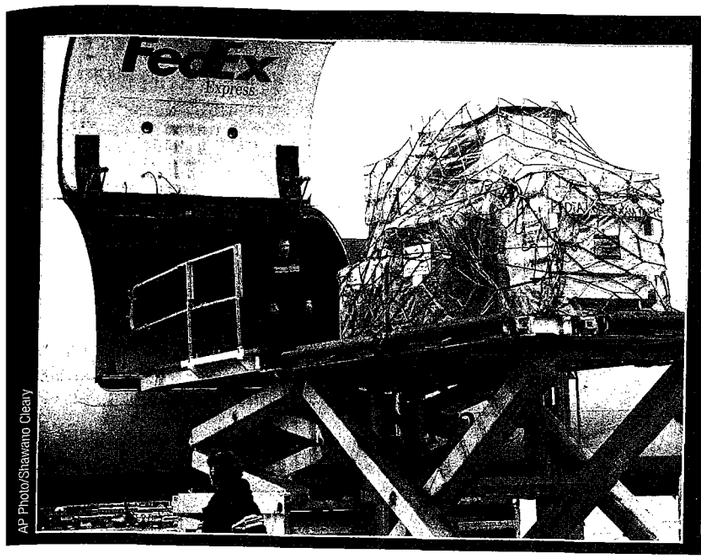
Murphy-Hoye, Mary, Hau L. Lee y James B. Rice, Jr. "A Real-World Look at RFID". *Supply Chain Management Review* (julio/agosto, 2005), pp. 18-26.

Randall, Taylor, Serguei Netessine y Nils Rudi. "Should You Take the Virtual Fulfillment Path?". *Supply Chain Management Review* (noviembre/diciembre, 2002), pp. 54-58.

Sullivan, Laurie. "Walmart's Way". *Informationweek.com* (27 de septiembre, 2004), pp. 37-50.

Trent, Robert J. "What Everyone Needs to Know About SCM". *Supply Chain Management Review* (marzo, 2004), pp. 52-59.

Wagner, Richard H. "An Interview with Dirk Brand: Hotel Manager of Queen Mary 2". *Beyondships.com* (diciembre, 2007), pp. 1-4.



13

SUSTENTABILIDAD DE LA CADENA DE SUMINISTRO Y LOGÍSTICA HUMANITARIA

Empleados de FedEx preparan un envío de suministros médicos de International Aid en Spring Lake, Michigan, para ayudar a víctimas de desastres.

FedEx

FedEx es una compañía de servicio de reparto de $33 mil millones por año que está acostumbrada a manejar crisis. Casi ningún día termina sin eventos perturbadores, como disturbios sociales, grandes tormentas o huelgas de trabajadores, no anticipados en el mundo. FedEx ha diseñado una cadena de suministro flexible y de respuesta rápida para sucesos catastróficos impredecibles. Esta capacidad ha hecho de FedEx un recurso importante para el alivio de cadenas de suministro en desastres que experimentan desajustes grandes de suministro y demanda que requieren una respuesta global tan rápida como sea posible. Una actitud de esperar y ver no funciona, es necesaria la planeación previa. Así sucedió en el caso del huracán Katrina, el desastre natural más costoso en la historia de Estados Unidos. Cinco días antes de que Katrina llegara al sureste de la costa de Luisiana, el jefe de control de operaciones de FedEx Global en Memphis, Tennessee, realizó llamadas en conferencia dos veces al día para más de 100 personas. Antes de que llegara la tormenta, FedEx posicionó 30,000 bolsas de hielo, 30,000 galones de agua y 85 generadores externos de Baton Rouge, en Luisiana y Tallahassee, Florida, para un rápido despliegue que aliviara a los empleados, además de 60 toneladas de equipo de la Cruz Roja Americana en posiciones estratégicas para esperar la tormenta. Mientras que se esperaban los altos vientos, la inundación masiva tomó a la compañía por sorpresa. FedEx regresó 10,000 paquetes a sus remitentes y tuvo que reprogramar 100,000 dispositivos para evitar enviar nuevos cargamentos a áreas cerradas. Como el aeropuerto de Nueva Orleans estaba cerrado, FedEx tuvo que cambiar su centro de actividad a Lafayette, Luisiana, en solo unos días,

un cambio de 135 millas que normalmente tomaría seis meses completar. De cualquier manera, en una semana después de la devastación, FedEx utilizó su vasta red logística para mover más de 900 toneladas de suministros de alivio a las áreas afectadas en Luisiana, Mississippi y el Astrodomo de Houston.

Fuente: Ellen Florian Kratz, "For FedEx, It Was Time to Deliver", *Fortune* (3 de octubre, 2005), pp. 83-84; *Business Wire,* **www.businesswire.com,** 14 de noviembre, 2006; LN Van Wassenhove, "Humanitarian Aid Logistics: Supply Chain Management in High Gear", *Journal of the Operational Research Society,* 2006, vol. 57, pp. 475-489; **www.fedex.com/us/about/responsibility/katrina.html**

METAS DE APRENDIZAJE *Después de estudiar este capítulo, usted será capaz de:*

1. Definir los tres elementos de sustentabilidad de la cadena de suministro.
2. Explicar el proceso de logística inversa y sus implicaciones para el diseño de la cadena de suministro.
3. Explicar la forma en que las empresas pueden mejorar la eficiencia en energía de sus cadenas de suministro.
4. Explicar cómo se diseñan las cadenas de suministro para apoyar las operaciones de respuesta y recuperación, en los esfuerzos de alivio por desastres.
5. Explicar la manera en que los aspectos éticos confrontan a los administradores de las cadenas de suministro.

sustentabilidad
Característica de procesos que satisfacen las necesidades de la humanidad sin dañar a las generaciones futuras.

responsabilidad financiera
Elemento de la sustentabilidad que aborda las necesidades financieras de los accionistas, empleados, clientes, socios de negocios, instituciones financieras y cualquier otra entidad que suministra el capital para la producción de servicios o productos o que depende de la empresa para su salario o reembolsos.

responsabilidad ambiental
Elemento de la sustentabilidad que aborda las necesidades ecológicas del planeta y el manejo de la empresa de los recursos naturales utilizados en la producción de servicios o productos.

responsabilidad social
Elemento de la sustentabilidad que aborda las expectativas morales, éticas y filantrópicas que la sociedad ha puesto en una organización.

logística humanitaria
Proceso de planeación, implementación y control del flujo y almacenamiento de bienes y materiales, eficiente y efectivo en costos, al igual que el relacionado con la información, del punto de origen al punto de consumo con el fin de aliviar el sufrimiento de personas vulnerables.

FedEx es un ejemplo excelente de cómo una empresa diseña su propia cadena de suministro para reaccionar ante perturbaciones importantes y desastres naturales, capacidad que también es útil cuando hay un llamado para asistir a otros en este tipo de eventos. Mientras que el diseño y la integración de una cadena de suministro efectiva es la capacidad que una organización utiliza para ser más competitiva en su industria, también sirve para convertirse en un mejor ciudadano corporativo. Un tema creciente en muchas corporaciones es el del manejo responsable de los recursos de capital, ecológicos y humanos que utilizan ellos y sus proveedores en la producción de servicios y productos. Traducido en una meta, estas corporaciones luchan para tener servicios, productos y procesos con la característica de **sustentabilidad**, que significa que están cumpliendo con las necesidades de la humanidad sin dañar a las generaciones futuras.[1] El tema de sustentabilidad tiene muchas implicaciones para una empresa; sin embargo, en este capítulo nos centraremos solo en las cadenas de suministro y su logro de la sustentabilidad.

Como lo muestra la figura 13.1, la sustentabilidad de la cadena de suministro tiene tres elementos. Primero, la **responsabilidad financiera** se refiere a las necesidades financieras de accionistas, empleados, clientes, socios de negocios, instituciones financieras y cualquier otra entidad que suministre capital para la producción de servicios y productos o que dependa de la empresa para su salario o reembolsos. Por su parte, las cadenas de suministro apoyan la responsabilidad financiera de una empresa al influir en los elementos que contribuyen al retorno sobre los activos, como se explicó en el capítulo 10, "Diseño de la cadena de suministro". Más aún, debido a que las cadenas de suministro tienen un vínculo esencial con los procesos, cualquier mejora al proceso o su administración, como se explicó en las partes 1 y 2 del libro, mejora el bienestar financiero de la empresa e incrementa su oportunidad de supervivencia en un mundo competitivo. Segundo, la **responsabilidad ambiental** aborda las necesidades ecológicas del planeta y el manejo de la empresa de los recursos naturales utilizados en la producción de servicios y productos. La meta es dejar una huella ambiental tan pequeña como sea posible de manera que las generaciones futuras puedan utilizar recursos naturales abundantes. El diseño y la integración de las cadenas de suministro suelen jugar un papel importante en la preservación de los recursos. Examinaremos el diseño de las cadenas de suministro de manera que el producto fabricado se pueda reprocesar y al final de su vida dé un valor en la forma de productos remanufacturados o materiales reciclados. También se examinará la planeación de las rutas de suministros para reducir la cantidad de energía consumida en la entrega de materiales o productos a los clientes.

Por último, la **responsabilidad social** aborda las expectativas morales, éticas y filantrópicas que la sociedad ha puesto en una organización. Mientras que esta responsabilidad cubre una amplia gama de actividades, las cadenas de suministro se utilizan para cumplir esas expectativas. Las empresas pueden engancharse en la **logística humanitaria**, que es el proceso de planear, implementar y controlar el flujo y almacenamiento eficiente, efectivo en costos de bienes y materiales, lo mismo que la información relacionada del punto de origen al punto de consumo con el fin de aliviar

[1] Encontrará un análisis más completo de sustentabilidad y lo que están haciendo las corporaciones importantes en Pete Engardio, "Beyond the Green Corporation", *Business Week* (29 de enero, 2007), pp. 50-64.

el sufrimiento de personas vulnerables.[2] Las empresas pueden utilizar su experiencia en la administración de la cadena de suministro para diseñar cadenas que proporcionen alivio en los desastres o suministren medicamentos y alimentos tan necesarios en las áreas no desarrolladas del mundo. Las consideraciones éticas también surgen en la elección de proveedores respecto a sus prácticas en cuanto a la mano de obra y los recursos naturales, la relación entre compradores y vendedores, la localización de instalaciones y la administración del inventario. La tabla 13.1 proporciona algunos ejemplos de la sustentabilidad de empresas bien conocidas.

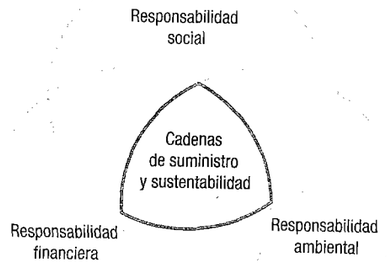


FIGURA 13.1 ▲
Cadenas de suministro y sustentabilidad

Sustentabilidad en toda la organización

Las cadenas de suministro integradas facilitan la implementación de operaciones sustentables debido a la comunicación establecida y los flujos de materiales. De todas formas, lograr la sustentabilidad en toda la cadena de suministro no es una tarea sencilla. Requiere la cooperación entre funciones y entre compañías para trabajar en retos como:

- *Protección ambiental.* Las empresas deben vigilar sus propios procesos y los de sus proveedores para mejorar los métodos de eliminación de desperdicio, para reducir la contaminación del aire, las corrientes y los ríos y para aumentar los esfuerzos ecológicos en la protección de la flora y la fauna.
- *Mejora de la productividad.* Las empresas deben examinar los procesos arriba y abajo de la cadena de suministro para aumentar la conservación de materiales, incrementar la eficiencia en energía y buscar maneras de convertir el desperdicio en subproductos útiles.
- *Minimización de riesgos.* Conforme la cadena de suministro crece, en particular en el sentido global, las empresas deben tener gran cuidado de asegurarse de que los materiales que entran a sus servicios, productos o procesos no constituyen peligros para la salud o seguridad de los clientes.
- *Innovación.* Conforme se diseñan y desarrollan nuevos servicios, productos o tecnologías, las empresas deben luchar para asegurarse de que apoyan sus responsabilidades financieras, ambientales y sociales, al tiempo que satisfacen las necesidades de sus clientes.

Un estudio de 766 directores ejecutivos de corporaciones importantes realizado por el Accenture Institute for High Performance reveló que 93% de los directores creían que los aspectos de sustentabilidad eran cruciales para el éxito futuro de sus compañías y 91% de ellos emplearían nuevas tecnologías (energía renovable, eficiencia en energía, información y comunicación) en los próximos cinco años.[3] Más aún, 88% de los directores creían que debían integrar la sustentabilidad en todas sus cadenas de suministro; sin embargo, solo 54% creía que lo había logrado. ¿Por qué existe la diferencia? Mientras que es intuitivamente atractivo, a pesar de las opiniones de los directores, la sustentabilidad no es una estrategia sencilla para la que se pueda obtener la aprobación de los consejos de directores. Con frecuencia, los directores necesitan demostrar algún tipo de retorno sobre la inversión para justificar los costos. Para los esfuerzos de sustentabilidad, los administradores deben tener una visión a largo plazo que acepte retornos menores en el futuro cercano para mejorar la oportunidad de supervivencia futura.

Como se ha dedicado la mayor parte del libro a las implicaciones financieras de los procesos, las cadenas de suministro y su administración, ahora nos centramos en que las cadenas de suministro logren las responsabilidades ambientales y sociales de la empresa.

Cadenas de suministro y responsabilidad ambiental

Las preocupaciones ambientales relacionadas con los negocios se expresan todos los días en los medios populares. Los prestadores de servicios están examinando maneras de aumentar la eficiencia y reducir el impacto de sus operaciones en el ambiente. Los fabricantes sienten la presión de asumir la responsabilidad de sus productos desde que nacen hasta que mueren. En esta sección se analizarán algunos aspectos ambientales y cómo pueden abordarlos las cadenas de suministro integradas. Estudiaremos las implicaciones de la cadena de suministro para implementar un enfoque llamado "logística inversa", que responde a la necesidad de rescatar los productos al final de su ciclo de vida. También mostraremos que la necesidad de eficiencia energética tiene un impacto en la toma de decisiones en las cadenas de suministro.

[2] A. Thomas. "Humanitarian Logistics: Enabling Disaster Response", Whitepaper: The Fritz Institute, San Francisco, California, 2003.
[3] "A New Era of Sustainability: UN Global Compact-Accenture", Accenture Institute for High Performance (junio, 2010), pp. 1-66.

Creación de valor mediante la administración de operaciones
Utilización de las operaciones para competir
Administración de proyectos
Administración de procesos
Estrategia de procesos
Análisis de procesos
Calidad y desempeño
Planeación de la capacidad
Administración de restricciones
Sistemas esbeltos
Administración de la cadena de suministro
Administración de inventarios de la cadena de suministro
Diseño de la cadena de suministro
Decisiones de localización de la cadena de suministro
Integración de la cadena de suministro
Sustentabilidad de la cadena de suministro y logística humanitaria
Pronósticos
Planeación y programación de las operaciones
Planeación de recursos

TABLA 13.1 | EJEMPLOS DE ESFUERZOS DE SUSTENTABILIDAD DE LA CADENA DE SUMINISTRO

		Ejemplo
Responsabilidad financiera		***NCR:*** al cambiar de un modelo centralizado en el condado a un modelo de manufactura global de bajo costo, donde la mayoría de los productos se fabrican en Asia, deben considerarse impuestos de importación, aranceles, distancias, combustible y falta de capacidad logística de la mensajería, al igual que la necesidad ocasional para crear la infraestructura logística para mover el producto. ***Nike:*** al analizar el balance en los costos de fabricar un producto en el país contra el extranjero, Nike encontró que para las plantas en Europa podía pagar 13% más en el precio de la fuente en el país y todavía estar abajo del precio de contratar la producción con fabricantes extranjeros.
Responsabilidad ambiental		
	Logística inversa	***Caterpillar:*** sus instalaciones de manufactura reciclan anualmente dos millones de piezas y 140 millones de libras de materiales en fábricas con la última tecnología en todo el mundo. ***IBM:*** su división de Recuperación de Activos Globales recolectó en un año un millón de unidades de equipo usado de tecnología de la información, que se convirtió en miles de millones de dólares en ingresos en los mercados de segunda mano de equipo, partes y materiales.
	Eficiencia	***RR Donnelley:*** trabajó de manera proactiva con los proveedores para ayudarles a encontrar maneras de usar menos empaques y reusar o reciclar lo que no se podía eliminar. ***UPS:*** agregará 48 camiones de uso rudo, impulsados por gas natural líquido (LPG) para bajar el consumo de diesel 95% y emitir 25% menos gases de invernadero.
Responsabilidad social		
	Cadenas de suministro para alivio de desastres	***Intel y Solectron:*** estas empresas, en colaboración con el International Rescue Committee, utilizan su experiencia en la ayuda en casos de desastre para simplificar el abastecimiento y crear procesos que reducen sustancialmente los tiempos de respuesta. ***DHL:*** utiliza su red exhaustiva de logística y su presencia en el mundo para ayudar a personas y comunidades afectadas por desastres naturales.
	Ética	***Airbus:*** coloca su prioridad más alta en el desempeño ambiental y apoya la economía verde y las transferencias de tecnología en países en desarrollo. ***The Body Shop:*** produce cosméticos centrados en el ambiente y la ética y requiere que todos sus proveedores firmen su código corporativo de conducta antes de comerciar con ellos.

Logística inversa

logística inversa
Proceso de planeación, implementación y control de flujos eficientes, efectivos en costos de productos, materiales e información desde el punto de consumo hacia atrás al punto de origen para las devoluciones, reparaciones, remanufactura y reciclado.

cadena de suministro de ciclo cerrado
Cadena de suministro que integra la logística hacia adelante con la logística inversa, centrándose en la cadena completa de operaciones del nacimiento a la muerte de un producto.

Para abordar los aspectos ambientales y administrar sus productos en todos sus ciclos de vida, las empresas como Coors Brewing Company, Dell y Caterpillar están adoptando **logística inversa**, que es el proceso de planeación, implementación y control de flujos eficientes, efectivos en costos de productos, materiales e información desde el punto de consumo hacia atrás al punto de origen para las devoluciones, reparaciones, remanufactura y reciclado.

Diseño de la cadena de suministro ¿Cómo están diseñadas las cadenas de suministro para que sean ambientalmente responsables durante la vida entera de un producto? Una cadena de suministro que integra la logística hacia adelante con la logística inversa se llama **cadena de suministro de ciclo cerrado** porque se centra en la cadena completa de operaciones desde el nacimiento hasta

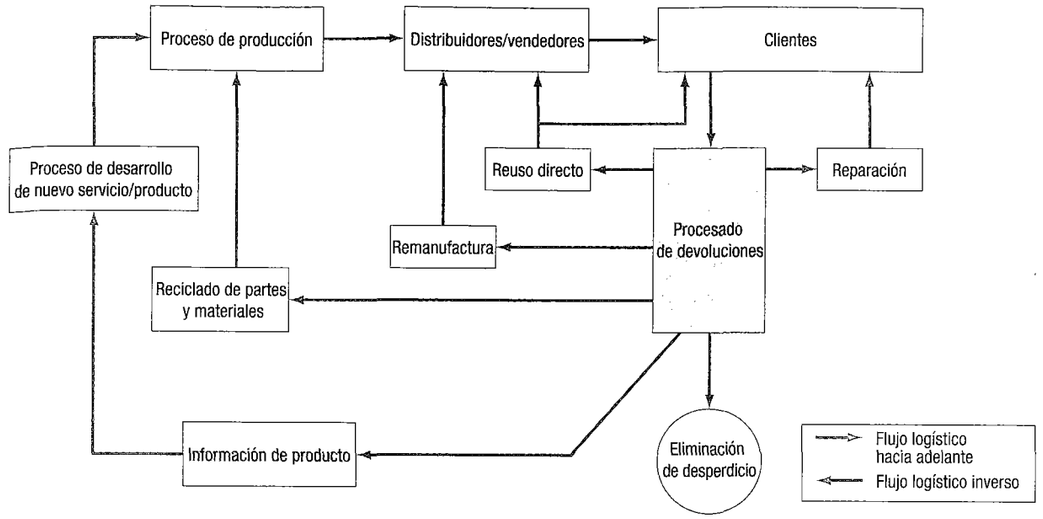


FIGURA 13.2 ▲
Flujos en una cadena de ciclo cerrado

la muerte de un producto. La figura 13.2 muestra cómo un producto inicia su jornada en el proceso de desarrollo de nuevos servicios/productos, encuentra su camino hasta el cliente y luego entra en la cadena de logística inversa que intenta maximizar el valor del artículo al final de su vida útil.

Es claro que las operaciones de logística inversa son muy diferentes de los flujos logísticos hacia adelante y mucho más costosos. Una empresa puede establecer una colección conveniente de puntos para recibir bienes usados del consumidor final y transportarlos al *procesador de devoluciones*, que es una instalación que pertenece al fabricante o contratada por un proveedor, competente en desarmar productos y recoger cualquier valor de ellos. Existen varias opciones. Si el artículo está descompuesto, puede repararse y devolverse al cliente. Otra opción es que se limpie y restaure para el uso directo y se regrese ya sea al canal de distribución, lo que ocurre con los productos rentados, o se envíe de vuelta al cliente, como en el caso de garantías de mantenimiento. El producto se puede remanufacturar si se desarma, se reconstruye con partes nuevas si es necesario, y se regresa al canal de distribución. Por último, el producto puede desarmarse por completo y las partes y materiales que sirven se limpian, prueban y regresan al proceso de producción. Existen dos subproductos importantes del proceso de logística inversa: desperdicio, que debe eliminarse de manera adecuada y la información del producto, que se transmite al proceso de desarrollo de nuevos servicios/productos para realizar mejoras en las generaciones futuras del producto.

Los procesos de logística inversa pueden ser importantes en particular en la industria electrónica. ¿Se ha preguntado alguna vez qué ocurre con su computadora después de comprar una nueva? Tal vez la regresó a la tienda donde compró la nueva, o simplemente la puso en la basura. En Estados Unidos se tiran a los rellenos más computadoras que ya no se usan que las que se reciclan. Las computadoras viejas contienen partes electrónicas con materiales que se reciclan; pero también contienen toxinas que se filtran al subsuelo si estos componentes se quedan sin procesar: plomo y cadmio en las tarjetas de circuitos, óxido de plomo y bario en los monitores y tubos de rayos catódicos, mercurio en interruptores y pantallas planas y retardadores de fuego en los circuitos impresos y las cubiertas de plástico.

Muchos procesadores de reciclado están localizados en los países en desarrollo y suelen ser de baja tecnología. Los materiales reciclables se recolectan y procesan. Los trabajadores, que por lo general no usan equipo protector, con frecuencia tiran los químicos que salen durante el proceso en corrientes y ríos cercanos. Otros materiales no procesados muchas veces se dejan en la basura y las toxinas se filtran. Este descuido por el ambiente provocó una reacción contra la eliminación inadecuada del equipo electrónico en los países desarrollados. La Unión Europea (UE) aprobó una ley que requiere que los fabricantes de electrónicos recojan y reciclen 75% de los productos que venden ahí. Algunos estados de Estados Unidos han prohibido desechar la *basura electrónica*, los componentes electrónicos y los subproductos químicos del proceso de reciclado en los rellenos y están considerando hacer responsables a los fabricantes por el manejo del desperdicio electrónico.

Reciclar es un aspecto importante de la logística inversa. La práctica administrativa 13.1 proporciona ejemplos de compañías que utilizan el reciclado como parte de su responsabilidad ambiental.

PRÁCTICA ADMINISTRATIVA 13.1 Reciclado en Hewlett-Packard y Walmart

Hewlett-Packard

Cada año Estados Unidos genera cerca de 2 millones de toneladas de basura electrónica, que puede destruir el ambiente si no se desecha de manera adecuada. Solo Estados Unidos es responsable de más de 2 mil millones de kilogramos de basura tecnológica cada año, un incremento de 300% en la década pasada. La creciente necesidad de la responsabilidad ambiental en la industria de manufactura de electrónicos proporciona una oportunidad para que las empresas no solo recuperen recursos escasos, sino también para que eleven su imagen pública. Hewlett-Packard (HP) y una compañía minero-metalúrgica canadiense, llamada Noranda, construyeron una planta de reciclado en Roseville, cerca de Sacramento, California. Un muelle de carga del tamaño de un campo de futbol está retacado de celulares, copiadoras, monitores de computadora, impresoras, PC y servidores: el resultado de un día. Los técnicos recuperan las partes que se reúsan antes de que las máquinas se pongan en las bandas transportadoras, se hagan pedazos en las trituradoras, las aplaste un granulador y se clasifiquen mediante imanes y corrientes de aire. Todo lo que queda son montañas de plástico, acero y aluminio en trozos de dos centímetros destinados a fundirse. Los metales preciados van a Noranda; el aluminio, vidrio y plástico se venden a quienes reciclan. Nada va a los rellenos. HP tiene plantas de reciclado en todo el mundo.

Robyn Beck/AFP/Getty Images/Newscom

Operaciones en la planta de reciclaje de HP en Roseville, California.

Walmart

Todas las compañías pueden ahorrar dinero reduciendo la cantidad de desperdicio que deben desechar. Walmart, debido a su tamaño, sin duda no es una excepción. Muchos artículos de basura, como plástico suelto, ganchos de plástico, papel de oficina y latas de aluminio están revueltos y es difícil recolectarlos para el reciclado. Para atacar este problema, Walmart inició su "súper paca sándwich" en todas sus tiendas y clubes en Estados Unidos. Los empleados colocan de 10 a 20 pulgadas de cartón en el fondo de grandes compactadores de basura. Los materiales como bolsas de plástico sueltas, latas de aluminio, ganchos de plástico y botellas de plástico de agua y refrescos se cargan encima y se coloca otra capa de cartón. El compactador prensa la paca como un sándwich con 9 a 18 pulgadas de reciclables en medio. Después las pacas se cargan en un camión para llevarlas a reciclar en diferentes materias primas para, al final, convertirse de nuevo en productos. Por ejemplo, en uno de sus programas de sustentabilidad, Walmart dirige los plásticos reciclados y el cartón a Worldwise, un líder en el desarrollo, manufactura y venta de productos sustentables para mascotas, donde se transforman en camas para perro durables y con estilo. Los ganchos de plástico se convierten en bandejas para desechos de gato, las bolsas de plástico en forros para las bandejas y el cartón corrugado en raspadores. Para tener una idea del valor involucrado, Walmart solía pagar a las compañías de recolección de basura para llevarse más de mil millones de ganchos de plástico de sus tiendas y clubes cada año. Ahora le pagan de 15 a 20 centavos por una libra de ellas. El dinero se suma con rapidez. ¿Quién dijo que las cadenas de logística inversa no eran rentables? Está claro que las operaciones de una cadena de suministro con conciencia ambiental pueden literalmente convertir "basura" en "dinero".

Najlah Feanny/News Archive/Corbis

Proceso de sándwich de reciclaje de Walmart.

Fuentes: Marc Gunther. "The End of Garbage", *FORTUNE* (19 de marzo, 2007), pp. 158-166; Zachary Slobig. "Hewlett-Packard E-Cyclers are Gold Miners of the Internet-Age", Terradaily (15 de junio, 2007), pp. 1-3; OliverRyan. "10 Green Giants", CNNMoney.com, 2011: "Waste", walmartstores.com, 2008; "Walmart Rolls Out the Plastic Sandwich Bale", walmartstores.com, 2005.

Implicaciones financieras Algunas empresas participan en las cadenas de suministro inversas al ser dueñas u operar procesos como la remanufactura, reciclado o reparación de productos y materiales usados. Estas empresas se benefician al reclamar partes que se pueden utilizar para sus operaciones de manufactura o vendiendo productos remanufacturados a precios competitivos. Sin embargo, si un fabricante de equipo original participa en la remanufactura, existe el temor de que los productos remanufacurados canibalicen las ventas de los nuevos productos de las empresas. Con frecuencia, estos temores dan lugar a restricciones como establecer precios base, en el precio que se cobra por estos productos, límites en los mercados donde se venden, límites en los canales de distribución en los que se venden y garantías reducidas que ofrecen. Por supuesto, se tiene también los costos de oportunidad por no remanufacturar. Existe el peligro de que las prácticas de desecho irresponsable para el ambiente por parte de los clientes de la empresa den como resultado que la empresa enfrente restricciones regulatorias costosas en el futuro. Además, terceros

fabricantes pueden participar en la cadena de suministro de logística inversa recolectando o comprando viejos productos no reclamados, aplicándoles remanufactura para después venderlos y competir con los nuevos productos de la empresa. Esto ocurre con los cartuchos rellenados de impresora láser y de inyección de tinta, lo cual erosiona los márgenes de ganancia de los fabricantes originales como Hewlett-Packard, Dell y Epson.

Otras empresas e individuos participan en la cadena de suministro de ingeniería inversa entregando sus productos y materiales usados para procesarlos. Se necesita un abastecimiento continuo de estos productos y materiales sin usar para hacer que la cadena inversa sea viable. Pueden ofrecerse varios incentivos para influir en la cantidad y calidad (condición) y el tiempo del abastecimiento. Los ejemplos de incentivos incluyen:

- *Cuota.* Se paga una cuota al usuario cuando entrega un producto usado o material reciclable para recuperación. Es usual que la cuota dependa de la condición del producto o material porque esto determina las posibilidades de reusarlo. Por supuesto, hemos visto que algunas empresas como Walmart obtienen ingresos sustanciales al reciclar materiales útiles que antes descartaban.
- *Cuota de depósito.* Estas cuotas dan un incentivo al usuario para regresar el producto o los contenedores del producto para obtener un rembolso del depósito. Esta cuota puede relacionarse con el producto mismo, como un camión rentado, que debe restaurase (limpieza y mantenimiento) antes de que lo use el siguiente cliente. De otra manera, la cuota se aplica a la distribución del producto, como un depósito por las botellas de cerveza en algunos estados. Harris Teeter, una cadena de supermercados en Carolina del Norte y otros estados, cobra una cuota sobre las botellas de vidrio de leche orgánica. Esta cuota, que puede ascender a $1.50 por leche que cuesta $3.49, se reembolsa cuando el cliente regresa las botellas vacías a la tienda.
- *Recolección.* Una compañía puede ofrecer recolectar sus productos de sus clientes sin costo cuando ellos quieren deshacerse de los productos. Dell, por ejemplo, no cobra cuotas para reciclar viejas computadoras de sus clientes. Dell diseña sus computadoras para que sea más fácil desarmarlas y reciclarlas.
- *Intercambio.* El cliente puede obtener una copia nueva del producto si otra copia se regresa. Por ejemplo, al comprar un motor restaurado para un vehículo, con frecuencia requiere que el dueño regrese el anterior, mismo que se desarma y se utilizan las partes, o bien, se restaura para venderlo a otro cliente.
- *Programas comunitarios.* Muchas veces las comunidades o grupos ofrecen establecer días especiales para la recolección de varios artículos que son difíciles de desechar, como llantas de vehículos, pintura, metal u otras cosas que los recolectores de basura no recogen.

Muchas empresas e individuos entregan sus productos y materiales usados para reciclado solo por el hecho de que es ambientalmente correcto hacerlo. En cualquier caso, sin incentivos, muchas cadenas de suministro de logística inversa no sobrevivirían.

Eficiencia energética

Las cadenas de suministro implican un flujo de materiales y servicios de su origen al destino final. Así, las cadenas de suministro consumen energía. El consumo de energía no solo es costoso desde el punto de vista de un negocio; también tiene efectos ecológicos negativos. Cada vez más empresas miden su **huella de carbono**, que es la cantidad total de gases de invernadero producidos para apoyar sus operaciones, que suelen expresarse en toneladas equivalentes de dióxido de carbono (CO_2). Las mayores contribuciones a las huellas de carbono las hacen los combustibles fósiles, en particular petróleo, diesel y gasolina, que se usan ampliamente en las operaciones logísticas de las cadenas de suministro. Por lo tanto, corresponde a las empresas ser eficientes respecto al consumo de energía en toda su cadena de suministro. En esta sección se analizarán cuatro palancas que los administradores de las cadenas pueden usar para aumentar la eficiencia en energía de sus operaciones: **1.** distancia de transporte, **2.** densidad del flete, **3.** modo de transporte y **4.** tecnología del transporte.

huella de carbono
Cantidad total de gases de invernadero producidos para apoyar las operaciones, que suele expresarse en toneladas equivalentes de dióxido de carbono (CO_2).

Distancia de transporte Los administradores de cadenas de suministro pueden disminuir la cantidad de energía consumida al mover materiales o entregar servicios reduciendo la distancia recorrida. Existen dos maneras de lograr esto. La primera incluye el diseño mismo de la cadena de suministro. Localizar instalaciones de servicio o plantas de manufactura próximas a las poblaciones de clientes reduce la distancia requerida para suministrar el servicio o producto. Más aún, seleccionar proveedores cercanos a la instalación de servicio o planta de manufactura reduce la cantidad de combustible necesario para procurar los materiales. Por supuesto, estos proveedores deben cumplir las necesidades de desempeño y calidad de la empresa.

Una segunda forma de mejorar la eficiencia en energía se refiere a las distancias de transportación y es la **planeación de rutas**, que busca encontrar la ruta más corta para entregar un servicio o producto. Una vez determinado el diseño de la cadena de suministro, la atención se dedica a minimizar la distancia recorrida para proporcionar el servicio o producto a los clientes cada día.

planeación de rutas
Actividad que busca encontrar la ruta más corta para entregar un servicio o producto.

problema de la ruta más corta
Problema cuyo objetivo es encontrar la distancia más corta entre dos ciudades en una red o mapa.

problema del agente viajero
Problema cuyo objetivo es encontrar la ruta más corta posible para visitar cada lugar o ciudad exactamente una vez y regresar al lugar de inicio.

Existen dos versiones tradicionales de este problema. La primera es el **problema de la ruta más corta**, que intenta encontrar la distancia más corta entre dos ciudades en una red o mapa. Se han desarrollado métodos matemáticos elegantes para resolver este problema, pero hoy somos afortunados de contar con los sistemas GPS para vehículos y lugares de la Web como Mapquest™, donde se pueden obtener con rapidez rutas eficientes en energía. Los fabricantes con sus propias flotas de reparto o terceros proveedores de logística (3PL) suelen utilizar estas rutas para minimizar sus costos de entregas.

La segunda versión se conoce como **problema del agente viajero**, que busca la ruta más corta posible que visita cada lugar o ciudad exactamente una vez y regresa al lugar de inicio. La solución a este problema es mucho más difícil, pero es el que los servicios de entrega enfrentan todos los días. Inicia en un lugar central, como un almacén, centro de distribución o núcleo de actividades, las órdenes que van a múltiples destinos se cargan en un camión que debe hacer las entregas o recoger suministros y regresar al lugar central. El problema es encontrar la secuencia de ciudades que el camión debe visitar de manera que el total de millas recorridas se minimice. La figura 13.3 indica cuatro ciudades que un agente viajero debe visitar, así como las millas entre cada una de estas sobre el arco que las une. ¿Cuántas rutas diferentes hay en la figura 13.3? Como se trata de distancias de manejo entre ciudades y no hay anomalías como calles de un sentido o bloqueos de caminos, la ruta núcleo central–A–C–B–núcleo central, por ejemplo, tiene la misma distancia total que la ruta al revés, núcleo central–B–C–A–núcleo central. En consecuencia, solo hay tres rutas diferentes:

Núcleo central –A–B–C–núcleo central, que es de 90 + 100 + 120 + 80 = 390 millas.

Núcleo central –B–C–A–núcleo central, que es de 85 + 120 + 130 + 90 = 425 millas.

Núcleo central –C–A–B–núcleo central, que es de 80 + 130 + 100 + 85 = 395 millas.

La ruta óptima para el ejemplo es núcleo cental –A–B–C–núcleo central.

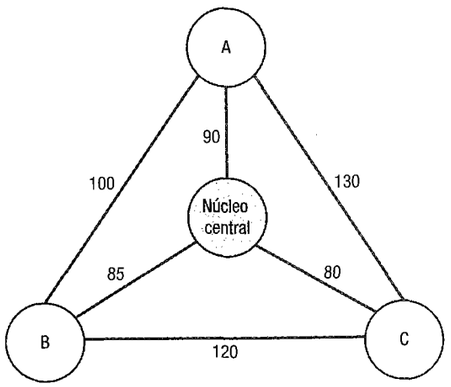


FIGURA 13.3 ▲
Problema del agente viajero con cuatro ciudades por visitar

Parecería fácil encontrar la mejor ruta; simplemente se evalúa cada ruta posible como se hizo. Sin embargo, si el camión visita n ciudades, existen $(n-1)!/2$ rutas diferentes que considerar. Por ejemplo, si hay tan solo ocho ciudades que visitar, existen 2,520 rutas posibles que considerar.[4] Mientras que la enumeración completa es una manera de resolver este problema, el esfuerzo computacional se vuelve oneroso. Si estuviera ante el problema de la figura 13.3, ¿cómo procedería para resolverlo en ausencia de un enfoque de fuerza bruta? Puede hacer lo siguiente: comenzar en el núcleo central e ir a la ciudad más cercana no visitada; desde esa ciudad encontrar la siguiente ciudad más cercana no visitada, y repetir hasta regresar al núcleo central. Este enfoque se llama **heurística del vecino más cercano (VC)** y consiste en los siguientes pasos:

1. Comenzar en la ciudad designada como la localización central. Llámese ciudad *inicial*. Colocar todas la demás ciudades en el conjunto *no visitado*.
2. Elegir la ciudad del conjunto no visitado más cercano a la ciudad inicial. Quitar esa ciudad del conjunto no visitado.
3. Repetir el procedimiento con la última ciudad visitada como la ciudad inicial.
4. Concluir cuando todas las ciudades se hayan visitado y regresar al lugar central.
5. Calcular la distancia total viajada por la ruta seleccionada.

heurística del vecino más cercano (VC)
Técnica que crea una ruta decidiendo la siguiente ciudad a visitar según su proximidad.

Al utilizar la heurística **VC** para el problema de la figura 13.3 se obtiene la ruta núcleo central–C–B–A–núcleo central, con una distancia total de 390 millas. Observe que esta es la solución óptima del problema. La heurística **VC** no siempre llega a la solución óptima; no obstante, sus ventajas principales son su rapidez y que en general proporciona soluciones razonables a un problema muy complejo. El ejemplo 13.1 muestra la aplicación de la heurística **VC** para la entrega de productos alimenticios naturales.

Densidad del flete Camiones, contenedores y carros de ferrocarril, todos tienen límites en cuanto al volumen y peso. Al reducir el volumen que desplaza un producto y dejar los mismos límites de peso de transporte, la empresa utilizaría menos camiones, contenedores o carros de tren para enviar el mismo número de unidades. La densidad de la carga, medida en libras por pie cuadrado, determina la clase de carga y el costo que debe pagar quien envía. Cuanto más baja la densidad, más alta es la clase de la carga porque el volumen de transporte será el máximo antes de que se alcance el límite de peso. Por ejemplo, 1,000 libras de pelotas de tenis de mesa ocupan mucho más espacio en un remolque que 1,000 libras de bolas de boliche. Las empresas pueden aumentar la densidad de la carga reduciendo el volumen de empaques, rediseñando el producto para que tenga menos volumen o posponiendo el ensamble hasta que está en posesión del cliente.

[4] Suponemos que existen caminos que conectan a cada par de ciudades. El factorial se divide entre dos porque la secuencia de ciudades visitada en una vuelta se supone que tiene la misma distancia que la misma vuelta en la secuencia inversa.

EJEMPLO 13.1 Encontrar una ruta eficiente en energía con la heurística del vecino más cercano

Hillary and Adams, Inc. es una empresa privada localizada en Atlanta, que sirve como distribuidor regional de alimentos naturales para Georgia, Kentucky, Carolina del Norte, Carolina del Sur y Tennessee. En particular, se les conoce bien por sus mezclas únicas de salsas de habanero picantes. Cada semana, un camión deja el gran centro de distribución en Atlanta para abastecer almacenes locales en Charlotte NC, Charleston SC, Columbia SC, Knoxville TN, Lexington KY y Raleigh NC. El camión visita cada almacén solo una vez y regresa a Atlanta después de completar todas las entregas. La distancia entre dos ciudades cualesquiera está dada en la tabla siguiente:

De/A	Atlanta	Charleston	Charlotte	Columbia	Knoxville	Lexington	Raleigh
Atlanta	0	319	244	225	214	375	435
Charleston	319	0	209	116	373	540	279
Charlotte	244	209	0	93	231	398	169
Columbia	225	116	93	0	264	430	225
Knoxville	214	373	231	264	0	170	351
Lexington	375	540	398	430	170	0	498
Raleigh	435	279	169	225	351	498	0

John Jensen, vicepresidente de logística en Hillary y Adams, Inc., está preocupado por los cada vez más altos costos del combustible. Con una reducción en los presupuestos operativos, está interesado en encontrar una ruta que minimice la distancia recorrida por el camión.

Utilice la heurística del vecino más cercano para identificar una ruta para el camión y calcule la distancia total recorrida.

SOLUCIÓN

La aplicación de la heurística **VC** da como resultado los siguientes pasos:

1. Iniciar en Atlanta y colocar todas la ciudades en el conjunto sin visitar: Charleston, Charlotte, Columbia, Knoxville, Lexington, Raleigh.
2. Seleccionar la ciudad más cercana a Atlanta en el conjunto no visitado, que es Knoxville. Eliminar Knoxville del conjunto no visitado. La ruta parcial es Atlanta–Knoxville, con 214 millas.
3. Revisar el conjunto no visitado en busca de la ciudad más cercana a Knoxville, que es Lexington. Eliminar Lexington del conjunto no visitado. La ruta parcial es Atlanta–Knoxville–Lexington con 214 + 170 = 384 millas.
4. Repetir el procedimiento hasta que todas las ciudades se eliminen del conjunto de ciudades no visitadas. Una la última ciudad con Atlanta para completar la ruta.
5. Calcule la distancia total recorrida a lo largo de la ruta. La ruta obtenida con la heurística del vecino más cercano (**VC**) es Atlanta–Knoxville–Lexington–Charlotte–Columbia–Charleston–Raleigh–Atlanta. La distancia total recorrida es (214 + 170 + 398 + 93 + 116 + 279 + 435) = 1,705 millas.

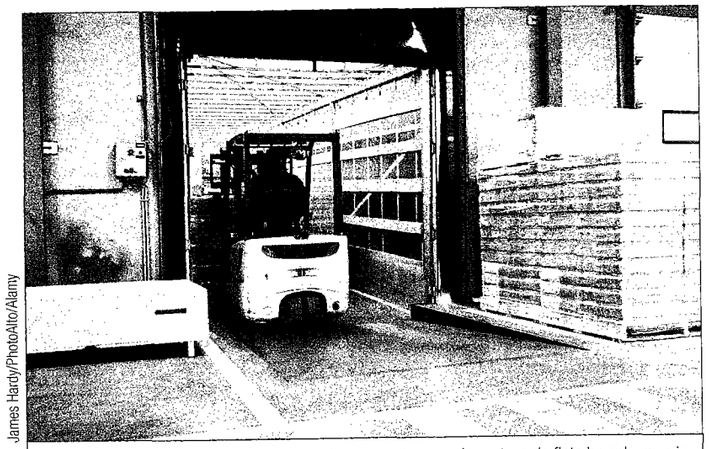
Observe que utilizando la misma secuencia de ciudades podríamos comenzar la ruta en cualquiera de ellas y viajar la misma distancia total. Por ejemplo, la ruta Lexington–Charlotte–Columbia–Charleston–Raleigh–Atlanta–Knoxville–Lexington también será de 1,705 millas. Este hecho nos permite usar la heurística **VC** de nuevo para ver si existe una mejor solución; repetimos la heurística seis veces más con cada ciudad como el punto inicial. El resultado de este enfoque da las siguientes rutas:

- Charleston–Columbia–Charlotte–Raleigh–Knoxville–Lexington–Atlanta–Charleston
  (116 + 93 + 169 + 351 + 170 + 375 + 319) = 1,593 millas.
- Charlotte–Columbia–Charleston–Raleigh–Knoxville–Lexington–Atlanta–Charlotte
  (93 + 116 + 279 + 351 + 170 + 375 + 244) = 1,628 millas.
- Columbia–Charlotte–Raleigh–Charleston–Atlanta–Knoxville–Lexington–Columbia
  (93 + 169 + 279 + 319 + 214 + 170 + 430) = 1,674 millas.
- Knoxville–Lexington–Atlanta–Columbia–Charlotte–Raleigh–Charleston–Knoxville
  (170 + 375 + 225 + 93 + 169 + 279 + 373) = 1,684 millas.
- Lexington–Knoxville–Atlanta–Columbia–Charlotte–Raleigh–Charleston–Lexington
  (170 + 214 + 225 + 93 + 169 + 279 + 540) = 1,690 millas.
- Raleigh–Charlotte–Columbia–Charleston–Atlanta–Knoxville–Lexington–Raleigh
  (169 + 93 + 116 + 319 + 214 + 170 + 498) = 1,579 millas.

  De las siete rutas producidas con la heurística **VC**, la mejor es la última, con una distancia recorrida de 1,579 millas.

PUNTO DE DECISIÓN

Minimizar el número de millas para completar una ruta reduce la cantidad de combustible consumido por Hillary y Adams en el proceso de entregas. Como cada ruta es un ciclo, el conductor del camión tendría instrucciones de ir de Atlanta a Knoxville, a Lexington, a Raleigh, a Charlotte, a Columbia, a Charleston y de regreso a Atlanta. De otra manera, podría seguir la secuencia inversa, viajando primero a Charleston, y así sucesivamente. La secuencia de ciudades dicta cómo se carga el camión. Las distancias recorridas todavía serían 1,579 millas. Mientras que la heurística VC no garantiza una solución óptima, ayudaría a John Jensen a evitar un error costoso. Por ejemplo, la ruta Atlanta–Raleigh–Lexington–Charleston–Knoxville–Columbia–Charlotte–Atlanta tiene 2,447 millas, 55% más en millas que la mejor solución. En consecuencia, además de ser ambientalmente responsable, la solución VC apoya la prioridad competitiva de operaciones de bajo costo. Minimizar la distancia recorrida para completar la ruta también acorta el tiempo requerido para hacer las entregas, lo cual apoya la prioridad competitiva de velocidad en la entrega.



James Hardy/PhotoAlto/Alamy

El que envía estas tarimas envueltas de cajas de cartón pagará una tasa de flete basada en seis factores que incluyen la densidad, el peso y la distancia.

Las empresas que utilizan terceros logísticos (3PL) para llevar sus materiales o productos a sus clientes, deben pagar la tasa de flete con base en seis factores:

1. Densidad del flete.
2. Peso del envío.
3. Distancia que recorre el envío.
4. Susceptibilidad al daño de los bienes.
5. Valor de los bienes.
6. Las características de carga y manejo de los bienes (características de carga se refiere a la eficiencia con que los artículos enviados se ajustan al contenedor o remolque; también, en casos especiales, deben cargarse y descargarse con cuidado).

La tabla 13.2 muestra ejemplos de tasa de flete y niveles por peso basados en varias clasificaciones para un envío programado entre dos áreas específicas. Las tasas están dadas en dólares por cien libras de peso (cwt). La clasificación de peso para un envío está determinada por la tarifa de National Motor Freight Classification (NMFC) y está basada en los últimos cuatro factores de la lista anterior. Existen 18 clases de flete posibles que van de 50 a 500. Las tarifas en la tabla se basan en la distancia recorrida y se modifican según el peso y la clase de flete. Observe que las tasas aumentan conforme la clase sube, pero disminuye cuando el peso sube.

Según la tabla 13.2, un envío que pesa 2,000 libras de clase 85 costaría 20(34.87) = $690.74. Un envío de 5,000 libras de la misma clase de artículos costaría 50(26.60) = $1,330, que es más costoso

TABLA 13.2 | MATRIZ EJEMPLO DE CAMBIOS EN PESO Y CLASE DE CARGA ($/CWT)

Clase	< 500 (lb)	500 (lb)	1,000 (lb)	2,000 (lb)	5,000 (lb)	10,000 (lb)	≥20,000 (lb)
50	34.30	28.32	24.25	23.04	17.58	15.74	10.47
55	36.94	30.50	26.12	24.82	18.93	17.41	11.58
60	39.59	32.69	27.99	26.60	20.29	19.08	12.69
65	41.94	34.64	29.66	28.18	21.49	20.27	13.48
70	44.64	36.86	31.56	29.99	22.88	21.94	14.59
77.5	48.10	39.72	34.01	32.32	24.65	23.85	15.86
85	51.90	42.86	36.70	34.87	26.60	26.24	17.45
92.5	55.89	46.15	39.52	37.56	28.64	28.38	18.87
100	60.27	49.77	42.61	40.50	30.89	30.77	20.46

que el envío de 2,000 libras, como se esperaría. ¿Qué tasa se cobrará si se tiene un envío de 4,000 libras? Como el peso del envío está entre dos cambios de peso, debemos ver cuál de las dos tasas se aplica. Utilizando la tasa de 2,000 libras, el cargo total es 40(34.87) = $1,394.80. Para la tasa de 5,000 libras, el cargo total es 40(26.60) = $1,064.00. En este caso, solo se cobrará al que envía $1,064.00 aun cuando la carga no cumple el mínimo para esa tasa. Para determinar el punto de equilibrio del peso entre dos cambios adyacentes, definimos las siguientes variables:

x = peso en el punto de equilibrio

A = grupo de menor peso

B = siguiente grupo más alto

C = tasa de flete en A

D = tasa de flete en B

El punto de equilibrio del peso está dado por:

$$x = (BD)/C$$

En nuestro ejemplo, el punto de equilibrio es (50 (26.60) / (34.87) = 38.14 o 3,814 libras. Cualquier envío mayor que 3,814 libras disfrutará la tasa menor del flete. El ejemplo 13.2 muestra cómo una empresa sabría si aumentar la densidad de la carga es mejor para sus intereses.

EJEMPLO 13.2 Evaluación del incremento en la densidad de la carga

Uno de los productos fabricados por Kitchen Tidy es Squeaky Kleen, un limpiador de azulejos utilizado en restaurantes y hospitales. Squeaky Kleen viene en contenedores de cinco galones, cada uno con peso de 48 libras. En la actualidad, Kitchen Tidy envía cuatro tarimas de 25 unidades cada semana a un centro de distribución. La clasificación de este artículo es 100. La tabla 13.2 tiene las tasas de flete que gobiernan este envío.

En un esfuerzo de responsabilidad ambiental, Kitchen Tidy pidió a sus ingenieros de producto que evaluaran un plan para convertir a Squeaky Kleen en un líquido concentrado eliminando el agua del producto. El producto sería en esencia el mismo, pero el cliente tendría que agregarle agua antes de usarlo. Esto permitiría a los ingenieros diseñar un contenedor más pequeño de manera que pudieran cargar 50 unidades en cada tarima. Cada contenedor de Squeaky Kleen pesaría solo 42 libras. El rediseño del producto podría aumentar la densidad de carga del producto y con ello reducir la clase de flete, que ahora sería de 92.5.

Utilice la tabla 13.2 para determinar los ahorros en costos de flete que puede esperar Kitchen Tidy del nuevo diseño.

SOLUCIÓN

Diseño actual del producto

- El envío semanal en libras es (número de tarimas)(unidades por tarima)(libras por unidad) = (4)(25)(48) = 4,800 libras.
- La clase de flete es 100. El peso de envío está entre dos grupos de peso. El punto de equilibrio entre estos dos grupos es (50)(30.89)/(40.50) = 38.14 o 3,814 libras. Por lo tanto, el envío califica para una tasa de flete menor.
- El costo del envío semanal es 48(30.89) = $1,482.72.

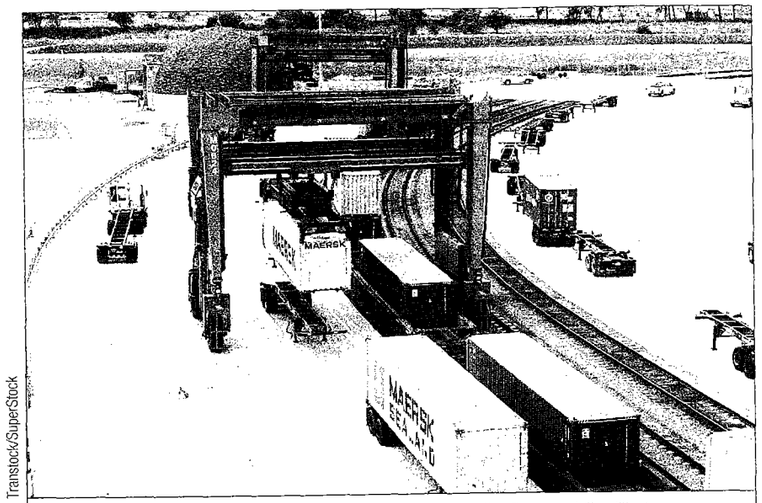
Diseño nuevo del producto

- El envío semanal en libras es (número de tarimas)(unidades por tarima)(libras por unidad) = (2)(50)(42) = 4,200 libras.
- La clase de flete es 92.5. El peso de envío está entre dos grupos. El punto de equilibrio entre ellos es (50)(28.64)/(37.56) = 38.126 o 3,813 libras. El envío de 4,200 libras obtendrá una tasa más baja.
- El costo total del envío semanal es 42(28.64) = $1,202.88.

El nuevo diseño del producto ahorrará a Kitchen Tidy $1,482.72 – $1,202.88 = $279.84 cada semana.

PUNTO DE DECISIÓN

Existen beneficios potenciales en la decisión de seguir adelante con el nuevo diseño del producto. El contenedor más pequeño significa menos costo de empaque, que aumenta en margen de ganancia de Kitchen Tidy. Un volumen cúbico menor también implica menos espacio de almacén dedicado a este producto. El impacto al ambiente de este esfuerzo se puede utilizar para elevar la imagen de Kitchen Tidy en la industria. Por supuesto, debe tenerse cuidado de educar al cliente de Squeaky Kleen acerca del nuevo diseño para que no piense que está obteniendo menos valor por su dinero debido a los contenedores más pequeños.



Transtock/SuperStock

Contenedores de carga llegan por camión y se cargan en el Logistics Park, en Joilet, Illinois.

Modo de transporte Los cuatro modos de transporte principales son: **1.** avión, **2.** camión, **3.** barco y **4.** ferrocarril. Desde la perspectiva de energía, el avión y el camión son mucho menos eficientes que el barco y el tren. De acuerdo con la Asociación Americana de Ferrocarriles, en promedio, los trenes son tres veces más eficientes en combustible que los camiones, capaces de mover una tonelada de carga con 436 millas por galón de combustible. El EPA también considera mejor el tren si se trata de emisiones nocivas por tonelada-milla. Más aún, el ferrocarril de carga ayuda a aliviar la congestión en las carreteras; un tren típico lleva una carga equivalente a varios cientos de camiones. De cualquier forma, los camiones son más flexibles y hacen entregas en la puerta del cliente. Los que hacen envíos tienen la conveniencia puerta a puerta de los camiones con la economía de las corridas largas de los trenes o los barcos empleando **envíos intermodales**, que implican mezclar los modos de transporte para un envío dado, como mover los contenedores o los remolques en carros de ferrocarril. Una gran variedad de bienes al consumidor, desde bicicletas hasta podadoras o tarjetas de felicitación y ropa, además de una creciente cantidad de productos agrícolas e industriales se transportan en envíos intermodales. Todos estos factores deben tomarse en cuenta cuando se diseñan cadenas de suministro responsables del ambiente.

envíos intermodales
Mezcla de modos de transporte para un envío dado, como mover contenedores de carga o los remolques de camión por ferrocarril.

Existen otras consideraciones que entran en la selección del modo. El avión es el más rápido, pero es costoso. Los camiones, siendo los más flexibles, logran llegar a destinos donde el avión, los barcos por el agua de ríos o mares o el ferrocarril no son económicos o factibles. Los envíos por agua, el modo preferido para envíos intercontinentales, suelen manejar los contenedores de mayor peso, con lo que minimizan el número necesario de envíos. Diseñar una cadena de suministro que aborde los aspectos ambientales, al tiempo que cumplen con las prioridades competitivas, puede ser un verdadero reto.

Tecnología del transporte Cada modo de transporte ofrece oportunidades para mejorar la eficiencia en energía a través de mejores diseños. Los factores de diseño incluyen:

- Resistencia relativa: energía necesaria para la propulsión de un vehículo de un tamaño dado a una velocidad dada.
- Razón carga útil: capacidad de carga del vehículo relativa al peso del vehículo cuando está totalmente cargado.
- Sistemas de propulsión: tecnología utilizada para mover el vehículo.

Walmart, por ejemplo, compró camiones diesel-eléctricos y refrigerados con unidad de potencia que podía mantener la carga fría sin el motor en marcha, ahorrando $75 millones en costos de combustible y eliminando una contaminación estimada de 400,000 toneladas de CO_2 en solo un año. Las compañías de manufactura y de servicios de transporte como FedEx, UPS y DHL remplazan activamente el equipo viejo por nuevo, equipo eficiente en energía y reducen mucho sus huellas de carbono. En Nueva Delhi, India, todos los vehículos comerciales están obligados a usar gas natural líquido (LNG) para reducir la contaminación del aire en la capital.

Cadenas de suministro, responsabilidad social y logística humanitaria

Más allá de las responsabilidades financiera y ambiental, las empresas y organizaciones también aceptan que existen responsabilidades sociales que deben reconocerse si han de ser considerados buenos ciudadanos corporativos. Los administradores de las cadenas de suministro están en una posición única para ser catalizadores de las actividades de responsabilidad social porque ellos son quienes pueden ampliar las fronteras: interactúan con otras áreas funcionales clave de la organización, al igual que con proveedores y clientes externos. De todos modos, los administradores de cadenas de suministro no pueden hacerlo solos, incluyendo a la alta administración. En esta sección, estudiamos las operaciones de logística humanitaria en la forma de cadenas de suministro para el alivio de desastres y la ética en las cadenas de suministro, dos áreas en las cuales los administradores de las cadenas harían contribuciones importantes.

Cadenas de suministro para alivio de desastres

Justin Kase zsixz/Alamy

Vehículo eléctrico híbrido de UPS haciendo una entrega.

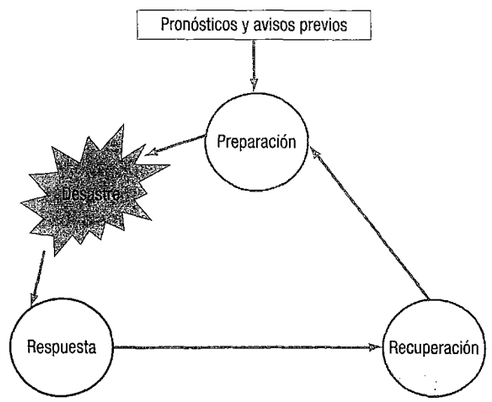
De acuerdo con Naciones Unidas, un *desastre* es una interrupción seria del funcionamiento de una sociedad, que ocasiona extensas pérdidas de vidas humanas, materiales o ambientales que exceden la habilidad de las personas afectadas para lidiar usando solo sus propios recursos. Los desastres pueden tener una relación humana (epidemias, guerra, genocidio, insurgencia, incendio provocado o terrorismo) o natural (sismo, *tsunami*, huracán, tornado, inundación, actividad volcánica). Algunos desastres dan más tiempo de planeación que otros; todos los desastres ponen presión en las operaciones de alivio. Los desastres recientes como los sismos en Haití y Chile en 2010 y el sismo y tsunami en Japón en 2011 son de estos casos. Entre 400 y 500 desastres naturales golpean por año afectando a más de 250 millones de personas y 80% de todas las operaciones de alivio para todo tipo de desastres requieren cadenas de suministro de alguna índole. Sobra decir que los administradores de las cadenas de suministro tienen un papel vital.

Las operaciones de ayuda para desastres mayores con frecuencia requieren mucha organización, es típico que las coordine Naciones Unidas. Los organismos como la Federación Internacional de la Cruz Roja y la Media Luna Roja y muchas otras organizaciones filantrópicas y basadas en la fe ayudan en los esfuerzos de alivio bajo el liderazgo de Naciones Unidas mediante programas como el Programa Mundial de Alimentos o el Programa de Desarrollo de NU. Además, terceros proveedores de logística privados, como Agility, TNT y UPS, se han asociado con NU para proporcionar capacidad adicional de transporte en el caso de desastres internacionales de gran escala y para proporcionar servicios de almacenaje en Italia, Emiratos Árabes Unidos, Panamá y Ghana. Los almacenes, conocidos como centros de actividades estratégicos, apilan artículos vitales anticipando desastres importantes en esa área el mundo. De manera similar, FedEx está asociada con Heart to Heart International, una organización humanitaria global que trabaja para mejorar la salud y para responder a las necesidades de víctimas de desastres en todo el mundo. Juntos han establecido cuatro Centros de Respuesta Adelantada localizados en la ciudad de Kansas y en México, Filipinas y los Emiratos Árabes Unidos. Cada centro está abastecido con 60 a 80 tarimas que contienen artículos vitales de alivio, listos para moverse al área afectada de inmediato al recibir un aviso. Como muestran estos ejemplos, las corporaciones privadas serían socialmente responsables al transferir, adquirir y compartir su experiencia y acceso a recursos necesarios mediante colaboraciones formales como estas.

La figura 13.4 presenta tres operaciones importantes de cadenas de suministro humanitarias relacionadas con el alivio en desastres —preparación, respuesta y recuperación— y la relación temporal entre ellas.

- *Preparación.* Los pronósticos y sistemas de advertencia en ocasiones proporcionan suficiente tiempo para reunir los recursos y organizar los esfuerzos de ayuda. Sin embargo, con frecuencia los desastres ocurren sin previo aviso. De todas formas, los organismos de ayuda logran hacer cierta planeación de antemano para reducir el tiempo de respuesta. Los protocolos de comunicación y la infraestructura de tecnología de la información se pueden preparar. Cuando la asociación estratégica con otros organismos y compañías privadas se formalizan, se emprende una capacitación del personal antes del siguiente desastre. Juegos estándar de productos no perecederos se ensamblan con anticipación y se almacenan, y algunos artículos se colocarían en centros estratégicos para reducir el tiempo de entrega cuando surja la necesidad.
- *Respuesta.* Después del desastre, los recursos se movilizan y envían al área afectada lo más pronto posible. Se realiza la procuración inicial de alimentos, agua, materiales y medicinas, que con el personal para proporcionar asistencia y ayuda humanitaria se envían a la región. Se hace una evaluación preliminar con pequeños equipos multidisciplinarios de trabajadores humanitarios experimentados y personal de logística. Muchas veces faltan las líneas de comunicación. La coordinación entre proveedores internacionales de los artículos necesarios y las autoridades locales es difícil porque los puertos de entrada son inaccesibles o porque los eventos de esta magnitud superan a las autoridades que no tienen la experiencia o los recursos.

▼ FIGURA 13.4
Operaciones de una cadena humanitaria de suministro



- *Recuperación.* Con el tiempo, el modo de las operaciones de respuesta a la crisis lleva a enfocarse en la reconstrucción de la información y la infraestructura logística y en la rehabilitación de la población afectada. Los suministros, alimentos y medicinas se ordenan con tiempos de entrega normales cuando se estiman mejor las cantidades. Se da más atención al costo de estos artículos. La colaboración y coordinación mejora; sin embargo, los suministros de todo el mundo enviados durante la etapa de respuesta, con frecuencia sin consultar con los equipos en el lugar, ocasionan un sobreabastecimiento de algunos productos.

Pacific Press Service/Alamy

Oficiales de policía, bomberos y los soldados de las fuerzas de autodefensa de todo Japón trabajan como una partida de rescatistas después del sismo y *tsunami* de Japón.

Papel de la administración de la cadena de suministro En lo que se refiere a la estructura de las cadenas de suministro y las operaciones de ayuda en desastres, los procesos de la cadena de suministro de una empresa, es decir, el proceso de relaciones con proveedores, el proceso de satisfacción de órdenes y el proceso de relaciones con el cliente permanecen en esencia intactos. La diferencia, cuando se trata de alivio por un desastre, es que los tiempos y el cliente final de un proveedor cambian con rapidez. De cualquier manera, los administradores de la cadena de suministro ofrecen el enlace entre todas las operaciones de alivio en desastres. Desde la perspectiva de los organismos de ayuda, que supervisan las operaciones de alivio relativas a sus organizaciones, las cadenas de suministro deben estar diseñadas para vincular las actividades de preparación con las actividades de respuesta inicial y después las operaciones de recuperación. La procuración de materiales, alimentos y medicinas debe igualarse con su distribución a las áreas afectadas, muchas veces incluyen balances entre velocidad de entrega, costo y calidad respecto al tipo de bienes y sus cantidades. Los administradores de la cadena de suministro pueden hacer esto y, también, pueden vincular las instalaciones para alivio en desastres con las operaciones en campo, sean esas operaciones de respuestas o de recuperación. Por esta razón, las organizaciones para alivio en desastres necesitan administradores de cadenas de suministro en su personal, algo que pocas tienen.

En las operaciones de alivio en desastres, los proveedores deben comprender que la morfología de las cadenas de suministro cambia con el tiempo. El ciclo de vida de las cadenas de suministro para alivio en desastres tiene cinco etapas: **1.** evaluación de necesidades, **2.** desarrollo de las cadenas de suministro iniciales para flexibilidad, **3.** distribución rápida de suministros a la región afectada según las necesidades pronosticadas, **4.** aumento en la estructuración de la cadena de suministro al pasar el tiempo y **5.** desmantelamiento o transferencia de la cadena de suministro a los organismos locales. Los proveedores y sus proveedores deben estar en la misma página mientras este ciclo se lleva a cabo, en tanto que el tiempo y los requerimientos quizá sean diferentes en cada desastre. Los administradores de la cadena que comprenden las implicaciones del ciclo de vida del alivio en desastres pueden mitigar sus efectos en las operaciones de su empresa mientras hacen su mejor esfuerzo para apoyar las metas de alivio.

Retos de la administración de la cadena de suministro La imposibilidad de predecir y la severidad de los desastres plantean retos únicos para los administradores de la cadena de suministro.

- *Diseño e implicaciones.* Muchas cadenas de suministro para alivio en desastres existen solo un tiempo corto. En el evento de un desastre, la cadena requeriría un nuevo diseño desde el principio con capacidades de respuesta rápida y la participación de proveedores innovadores. Las operaciones de respuesta tienen que ver con velocidad y agilidad en el suministro de los artículos necesarios. Asumir los riesgos es recomendable porque la prioridad es el acceso rápido. Por otro lado, las operaciones de recuperación requieren más programación y favorecen un diseño de cadena de suministro eficiente.
- *Comando y control.* En desastres internacionales importantes, Naciones Unidas suele tener el papel de líder. Los organismos de alivio en desastres trabajan para proveer los artículos y servicios a los que tienen acceso. Sin embargo, el gobierno nacional y local de la región deben reconocerse e incluirse. Algunas veces, el gobierno nacional no otorga el acceso al área hasta que logra asegurar su seguridad, o no permitirá el acceso a los organismos de ayuda de otros países por razones políticas. En otras palabras, los suministros cruciales pueden no distribuirse cuando están disponibles debido a bloqueos locales o nacionales.
- *Seguridad de la carga.* Al enviar contenedores de bienes a algunos países en desarrollo se pueden sufrir robo y retrasos largos. Tal vez los retrasos se deban a numerosas verificaciones políticas o del peso. Algunas veces se necesitan sobornos para mover la carga por todos los lugares de verificación, todo esto ocasiona retrasos cuando la rapidez es esencial.

- *Independencia del donador.* Existen muchos organismos para el alivio en desastres, todos tienen las mejores intenciones de ayudar a mitigar el dolor y el sufrimiento en el punto del desastre. Si no se coordinan con una lista de los suministros requeridos, cada uno envía lo que cree que se necesita. El resultado puede ser confusión, congestión, sobreabastecimiento de algunos artículos y subabastecimiento de otros.
- *Cambio en el flujo del trabajo.* Durante las operaciones de respuesta, los suministros se envían sin esperar que se determine la demanda con precisión. Los suministros se proporcionan de acuerdo con pronósticos, aunque no sean perfectos, utilizando un *flujo de empuje* desde los proveedores. Una vez que los esfuerzos de alivio llegan a las operaciones de recuperación, las necesidades reales deben dictar el volumen requerido de provisiones y las cadenas de suministro deben cambiar a un *flujo de jalón.*
- *Infraestructura local.* Como los desastres con frecuencia ocasionan daños importantes a la infraestructura, los caminos, los puertos, el ferrocarril y los aeropuertos pueden estar comprometidos, limitando el movimiento lógico de las provisiones necesarias. Quizá la capacidad del transporte local esté limitada. Muchas veces deben utilizarse enfoques novedosos, como helicópteros que mueven suministros desde los barcos en el mar.
- *Alta rotación de empleados.* Las necesidades del alivio de desastres y la disponibilidad de mano de obra calificada en el lugar son altamente impredecibles. Los procesos manuales con frecuencia necesarios en los desastres están mal definidos. Al agregar la incertidumbre de los fondos del organismo de alivio, la rotación de empleados tiende a ser alta en este tipo de operaciones.
- *Mala comunicación.* La tecnología de la información se fragmenta: las líneas de teléfono están interrumpidas, el servicio de llamadas es limitado y el acceso a Internet poco confiable.

Ética de las cadenas de suministro

Las cadenas de suministro, en virtud de sus interconexiones con otras empresas y sus intensas interacciones humanas internas y externas, con frecuencia plantean aspecto éticos para sus administradores. En esta sección exploraremos algunos de los aspectos éticos asociados con las relaciones comprador-vendedor, la localización de las instalaciones y la administración del inventario.

Relaciones comprador-vendedor Cuando surgen aspectos éticos, los clientes suelen culpar a la empresa que les vendió el servicio o producto cuando de hecho un proveedor río arriba es responsable. Seleccionar proveedores que se adhieran a los códigos éticos de conducta es un aspecto crucial del diseño de una cadena de suministro. Esta es una tarea difícil, pero las empresas socialmente responsables tienen cierta guía para seleccionar proveedores éticos. Social Accountability International, una organización dedicada a definir y verificar la implementación de lugares de trabajo éticos, compiló el **SA8000:2008**, que es una lista de estándares que cubre nueve dimensiones de la administración ética de la fuerza de trabajo:

SA8000:2008
Lista de los estándares que cubre nueve dimensiones de la administración ética de la fuerza de trabajo.

1. *Mano de obra infantil*: no emplear a trabajadores menores de edad, usualmente menores de 15 años.
2. *Trabajos forzados*: se prohíbe el uso de trabajos forzados, incluyendo trabajo de prisioneros o trabajo servil por deudas laborales.
3. *Salud y seguridad*: proporcionar un entorno de trabajo saludable y seguro.
4. *Libertad de asociación y derecho a negociación colectiva*: respetar el derecho a formar y unirse a sindicatos y lograr negociaciones colectivas.
5. *Discriminación*: evitar la discriminación basada en raza, clase social, origen, religión, discapacidad, género, orientación sexual, afiliación sindical o política o edad; no permitir acoso sexual.
6. *Disciplina*: no utilizar castigo corporal ni coerción mental o física, o abuso verbal.
7. *Horas de trabajo*: exigir no más de 48 horas por semana con al menos un día libre por cada periodo de siete días con tiempo extra y pagar según el acuerdo de negociación colectiva.
8. *Compensación*: los salarios pagados por una semana estándar de trabajo deben cumplir los estándares legales y ser suficientes para satisfacer las necesidades básicas de los trabajadores y sus familias.
9. *Sistemas de administración*: las instalaciones que buscan lograr y mantener la certificación deben ir más allá de la simple complacencia para integrar el estándar en sus prácticas y sistemas administrativos.

Una vez certificada, la empresa necesita renovar la certificación cada tres años. De todas maneras, los estándares como el SA8000:2008 están diseñados para construir una cadena de suministro que sea socialmente responsable.

Además de identificar proveedores con prácticas laborales éticas, las empresas deben luchar por seleccionarlos de manera imparcial, guiados estrictamente por los criterios de mercado y las prioridades competitivas. El tratamiento preferencial de proveedores por amistad, liga familiar o inversión con el proveedor debe evitarse. Los compradores deben ser honestos al negociar

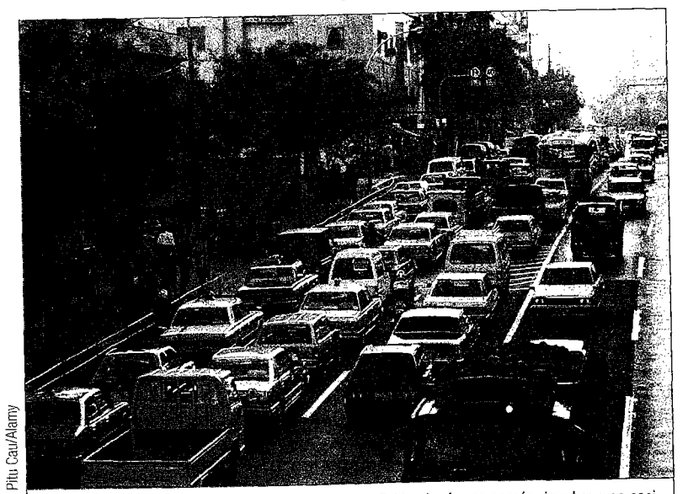
contratos y tener respeto por la estructura de costo del proveedor y cualesquiera esfuerzos especiales para mejorar el desempeño. Las gratificaciones para el comprador deben estar limitadas o excluidas. Otras actividades no éticas incluyen:

- Revelar licitaciones confidenciales y permitir a ciertos proveedores que liciten de nuevo.
- Hacer arreglos recíprocos por los que la empresa compra a un proveedor que a su vez le compra a la empresa.
- Exagerar situaciones para obtener mejores tratos.
- Utilizar los recursos de la compañía para ganancias personales.

Una relación comprador-proveedor final merece mención especial. En la mayor parte de las cadenas de suministro, el poder de compra juega un papel en la relación entre el comprador y el proveedor. Los compradores que representan una gran porción del ingreso del proveedor pueden imponer concesiones al proveedor que tal vez no correspondan a los intereses del proveedor. Por ejemplo, ¿debe un comprador poderoso forzar a proveedores a operar con pérdidas, aun por un tiempo corto, con la premisa de que ellos, y todos, se beneficiarán en el largo plazo? Algunos dirán que eso ocurrió cuando Walmart exigió a todos sus proveedores a invertir en la tecnología RFID (identificadores por radio frecuencia) para rastrear los inventarios y envíos. Algunos proveedores, en especial los que vendían bienes con márgenes de ganancia bajos, fueron forzados a tener pérdidas para permanecer en la planta de proveedores de Walmart. Otros dirán que en el largo plazo todos en la cadena de suministro estarán mejor que antes del cambio a los RFID. De cualquier manera, los intentos iniciales para establecer el RFID en Walmart no fueron bien recibidos por los proveedores y su inconformidad ocasionó que el programa fallara. Hoy, Walmart comparte costos con el proveedor y se enfoca más en RFID a nivel de artículos, en particular en la ropa, donde los beneficios se logran definir con más claridad. Sin embargo, los que cuidan su privacidad están todavía preocupados por el uso de RFID porque piensan que la privacidad de los consumidores individuales puede comprometerse cuando lleven los productos a casa con las etiquetas.

Debe señalarse que los aspectos éticos como este también confrontan a proveedores poderosos, en particular en sus contratos con los minoristas respecto a la exclusividad de sus productos o el control de la política de ordenar.

Localización de instalaciones Ya analizamos las implicaciones de costo de las decisiones de localizar las instalaciones en el capítulo 11, "Decisiones de localización de la cadena de suministro". Las decisiones principales como la localización de instalaciones también tienen consideraciones éticas. La construcción y operación de nuevas instalaciones suele afectar el entorno natural por alterar los ecosistemas, primordialmente con la destrucción del hábitat y el aumento en la contaminación de aire, agua y ruido. La eficiencia en energía también es una preocupación. Estas consideraciones crean un dilema ético: ¿debe una localización basada en los costos de la construcción tradicional y la logística cambiarse a una localización con más responsabilidad ambiental si aumentarán sus costos? La localización de una instalación que evite la alteración de los hábitats naturales o tome acción para incluir tecnologías de abatimiento de ruido y reducción de la contaminación del aire debido a las regulaciones de la región puede aumentar los costos de inicio y de operación. Debe haber un equilibrio entre responsabilidad financiera y ambiental. Localizar una instalación en un país en desarrollo para evitar algunas de las regulaciones ambientales activas en países más desarrollados sería menos costoso, pero ¿es ético? En cierta forma, identificar la localización menos costosa también puede ayudar al ambiente. Por ejemplo, minimizar las distancias recorridas por personal y materiales desde y hacia una instalación reduce los costos de operación y aumenta la eficiencia en energía.



Pitu Cau/Alamy

El congestionamiento de tránsito en horas pico en Tokio, Japón, es común, igual que en casi todas las ciudades. Una alta proporción de vehículos de entregas exacerban el problema.

Administración de inventarios Las políticas de inventarios para inventarios de demanda independiente se analizaron en el capítulo 9, "Administración del inventario de la cadena de suministro". Reducir la cantidad a ordenar para un artículo reduce el inventario de ciclo en el almacén al tiempo que aumenta el número de órdenes por año. El extremo es un *sistema justo a tiempo* (JIT), estudiado en el capítulo 8, "Sistemas esbeltos", donde las órdenes por cantidades pequeñas se colocan cuando se necesitan. Imagine un área metropolitana grande donde la mayoría de los negocios utilizan sistemas JIT y la congestión de tránsito que resulta con los camiones de entrega que llevan cantidades pequeñas. Por ejemplo, gran parte de la congestión en Tokio se atribuye a las entregas JIT. Mientras que el costo de los sistemas de inventarios para una compañía dada se minimizan en el sentido tradicional, la contaminación por ruido, el consumo de energía, la contaminación del aire y el tiempo de viaje aumentan sin límite para la comunidad. Una vez más, existe un equilibrio entre la responsabilidad financiera y la responsabilidad ambiental. ¿Qué puede hacer una empresa? Debe tomar medidas para minimizar el movimiento de material desde y hacia la empresa: **1.** consolidando envíos de artículos con un *sistema de revisión periódica* (sistema *P* con el mismo periodo de revisión para un grupo de artículos del mismo proveedor) o **2.** aumentar los niveles de inventario, ya sea ajustando el tiempo de las entregas para evitar las horas pico o reducir el número total de envíos. Por supuesto, estos remedios incrementan los costos de inventarios para la empresa.

Administración de cadenas de suministro sustentables

¿Qué puede hacer una empresa para manejar sus cadenas de suministro y asegurar que sean sustentables? Las empresas consideran los siguientes pasos.

1. Desarrollar un *marco de sustentabilidad para la cadena de suministro*. Definir qué significa "sustentabilidad" para la empresa en términos claros. Utilizar SA8000:2008 como guía para los aspectos del lugar de trabajo.
2. Reunir datos del desempeño de los proveedores actuales y utilizar el mismo cuestionario para revisar nuevos proveedores potenciales. Utilizar el marco de sustentabilidad como fundamento.
3. Requerir el cumplimiento del marco de sustentabilidad de la cadena de suministro en todas las unidades del negocio, incluyendo los proveedores actuales y la selección de proveedores futuros.
4. Abordar una administración activa de proveedores y utilizar todos los medios éticos disponibles para influir en su comportamiento.
5. Proporcionar reportes periódicos sobre el impacto de las cadenas de suministro sobre la sustentabilidad.

Diseñar y administrar una cadena de suministro sustentable no es sencillo, pero muchas empresas están haciendo de la sustentabilidad una meta importante en sus operaciones.

REPASO DE LAS METAS DE APRENDIZAJE

1. **Definir los tres elementos de sustentabilidad de la cadena de suministro.** Vea los párrafos de apertura de este capítulo, la figura 3.1 y la tabla 13.1, que contienen ejemplos de responsabilidad financiera, ambiental y social de compañías importantes. También en la sección "Sustentabilidad en toda la organización", p. 443, encuentre los retos que enfrentan las organizaciones.
2. **Explicar el proceso de logística inversa y sus implicaciones para el diseño de la cadena de suministro.** Véase las secciones "Cadenas de suministro y responsabilidad ambiental", pp. 443-452, y estudie la figura 13.2. La práctica administrativa 13.1 muestra la forma en que el reciclaje de Walmart y Hewlett-Packard utiliza productos y materiales.
3. **Explicar la forma en que las empresas pueden mejorar la eficiencia en energía de sus cadenas de suministro.** Véase la sección "Cadenas de suministro y responsabilidad ambiental", pp. 443-452. Asegúrese de comprender la heurística del vecino más cercano, el ejemplo 13.1 y el problema resuelto 1. Estudie el enfoque de punto de equilibrio para identificar los pesos para el envío de bienes, la tabla 13.2, el ejemplo 13.2 y el problema resuelto 2.
4. **Explicar cómo se pueden diseñar las cadenas de suministro para apoyar las operaciones de respuesta y recuperación en los esfuerzos de alivio a desastres.** La sección "Cadenas de suministro, responsabilidad social y logística humanitaria", pp. 452-457, contiene un análisis del papel de los administradores de cadenas de suministro y los retos que enfrentan en los esfuerzos de alivio de desastres. La figura 13.4 muestra tres operaciones importantes de alivio de desastres que deben apoyar las cadenas de suministro.
5. **Explicar la manera en que los aspectos éticos confrontan a los administradores de las cadenas de suministro.** La sección "Cadenas de suministro, responsabilidad social y logística humanitaria", pp. 452-457, analiza la naturaleza de los aspectos éticos que los administradores de cadenas de suministro enfrentan y cómo pueden manejarlos.

MyOMLab ayuda a desarrollar habilidades analíticas y evalúa su avance con múltiples problemas acerca del agente viajero usando la heurística del vecino más cercano y el análisis de punto de equilibrio para encontrar las tasas de equilibrio en los costos de envío.

Recursos de MyOMLab	Títulos	Vínculos con el libro
Video	Clif Bar: Supply Chain	Cadenas de suministro y responsabilidad ambiental
Tours virtuales	1. Caterpillar 2. Patagonia	Logística inversa Cadenas de suministro y responsabilidad ambiental; Ética en las cadenas de suministro
Ejercicios en Internet	13.1 Newsweek Green Rankings 13.2 Steelcase	Todo el capítulo Todo el capítulo
Ecuaciones clave		
Biblioteca de imágenes		

Ecuaciones clave

Pesos de punto de equilibrio:

A = grupo de menor peso

B = siguiente grupo más alto

C = tasa de flete en A

D = tasa de flete en B

$x = (BD)/C$

Términos clave

cadena de suminístro de ciclo cerrado 444
envíos intermodales 452
heurística del vecino más cercano (VC) 448
huella de carbono 447
logística humanitaria 442
logística inversa 444
planeación de rutas 447
problema de la ruta más corta 448
problema del agente viajero 448
responsabilidad ambiental 442
responsabilidad financiera 442
responsabilidad social 442
SA8000:2008 455
sustentabilidad 442

Problema resuelto 1

Greenstreets Recycling, Inc. recolecta aceite de motor usado de varios sitios de recolección alrededor del área de Stanford. Para minimizar el uso, y con ello el costo, de su mano de obra, vehículos y recursos energéticos, la compañía está interesada en localizar la ruta más corta que permita a su vehículo de recolección visitar cada sitio exactamente una vez. La siguiente tabla proporciona las distancias de viaje en millas entre cada sitio. Observe que la instalación de reciclado de la compañía está localizada en el sitio A.

De/A	A	B	C	D	E	F
A (depósito)	–	25	50	48	41	60
B	25	–	35	22	23	43
C	50	35	–	25	47	65
D	48	22	25	–	24	40
E	41	23	47	24	–	21
F	60	43	65	40	21	–

Proporcione una ruta eficiente para el vehículo de recolección.

SOLUCIÓN

a) Comience en la instalación de reciclaje (sitio A) y proceda hacia su vecino más cercano (sitio B) que está a 25 millas.

b) Desde el sitio B proceda a su vecino más cercano no visitado. Proceda de B a D, una distancia de 22 millas.

c) Desde el sitio D proceda al sitio E, una distancia de 24 millas.

d) Del sitio E proceda al sitio F, una distancia de 21 millas.

e) Del sitio F proceda al sitio C (el único sitio restante sin visitar), una distancia de 65 millas.

f) Del sitio C regrese al sitio A, una distancia de 50 millas.

La ruta completa es A–B–D–E–F–C–A con una distancia recorrida total de 207 millas (25 + 22 + 24 + 21 + 65 + 50).

Para ver si existe una mejor solución, debe repetirse la heurística del vecino más cercano, utilizando cada ciudad como el punto de inicio.

Ciudad B: B–D–E–F–A–C–B con una distancia total de (22 + 24 + 21 + 60 + 50 + 35) = 212 millas.

Ciudad C: C–D–B–E–F–A–C con una distancia total de (25 + 22 + 23 + 21 + 60 + 50) = 201 millas.

Ciudad D: D–B–E–F–A–C–D con una distancia total de (22 + 23 + 21 + 60 + 50 + 25) = 201 millas.

Ciudad E: E–F–D–B–A–C–E con una distancia total de (21 + 40 + 22 + 25 + 50 + 47) = 205 millas.

Ciudad F: F–E–B–D–C–A–F con una distancia total de (21 + 23 + 22 + 25 + 50 + 60) = 201 millas.

Observe que las soluciones localizadas utilizando las ciudades C, D y F como punto inicial proporcionan una ruta igualmente corta. Así, con la instalación de reciclado en el sitio A, el vehículo de recolección debe proceder a F, luego E, luego B, luego C y por último de regreso a A, con una distancia total de 201 millas. También debe observarse que, como las distancias son simétricas, una ruta en el orden inverso, A–C–D–B–E–F–A, proporciona la misma distancia recorrida.

Problema resuelto 2

Kayco Stamping en Ft. Worth, Texas, envía componentes de hojas de metal a una planta de ensamble de cajas en Waterford, Virginia. Cada componente pesa aproximadamente 25 libras y caben 50 componentes en una tarima estándar. Una tarima completa se envía como carga clase 92.5. Utilice la tabla 13.2 para calcular el costo semanal de envío para las siguientes cantidades y calcule el costo de envío por componente.

a) 3 tarimas.

b) 13 tarimas.

SOLUCIÓN

a) Con tres tarimas o 150 piezas, el peso del envío = 150 × (25 libras) = 3,750 libras.

Para la clasificación de 92.5, utilizando la tabla 13.2, el peso de equilibrio = 50(28.64)/37.56 = 38.13 o 3,813 libras, así el envío no califica para la tasa más baja.

Costo total de envío semanal = 37.5(37.56) = $1,408.50

El cargo de envío por componente es $1,408.50/150 = $9.39

b) Con 13 tarimas o 650 piezas, el peso de envío es = 650 × (25 libras) = 16,250 libras.

Para la clasificación de 92.5, usando la tabla 13.2, el peso de equilibrio = 200(18.87)/28.38 = 132.98 o 13,298 libras; así el envío califica para la tasa más baja.

Costo de envío semanal total = 162.5(18.87) = $3,066.38

El cargo de envío por componente es $3,066.38/650 = $4.72.

Preguntas para análisis

1. En el ejemplo de apertura del capítulo, vimos cómo una corporación importante puede hacer una contribución social significativa asistiendo con una cadena de suministro para el alivio de desastres. Los desastres con frecuencia ocurren con muy poco aviso previo; la ayuda humanitaria debe llegar a las áreas afectadas con rapidez. Desde la perspectiva del diseño de la cadena de suministro, ¿qué capacidades deben tener las cadenas de suministro de alivio al desastre?
2. Diseñar cadenas de suministro eficientes en energía y ambientalmente responsables ayuda a la empresa a lograr una prioridad competitiva de operaciones de bajo costo, que apoyan la responsabilidad financiera con sus accionistas. Explique por qué enfocarse en la eficiencia energética plantearía algunos dilemas éticos para los administradores de la cadena de suministro.
3. Conforme más empresas consideran la operación de desarrollar cadenas de suministro de logística inversa, explique las implicaciones financieras que deben tomar en cuenta.
4. Las relaciones tradicionales comprador-proveedor giran en torno a las consideraciones financieras. Los compradores y proveedores tratan de obtener los mejores tratos para sus compañías y con frecuencia la ganancia de uno es la pérdida del otro. Muchas empresas hoy valoran las operaciones sustentables, que involucran responsabilidades financieras, ambientales y sociales. Explique la manera en que las relaciones proveedor-comprador están evolucionando en este nuevo entorno.

Problemas

El OM Explorer y POM para Windows están disponibles para todos los estudiantes de la décima edición de este libro. Vaya a **www.pearsonhighered.com/krajewski** para bajar estos paquetes de computadora. Si compró MyOMLab, también tiene acceso al software de modelos activos y mucha ayuda para resolver los problemas siguientes. Verifique con su instructor la mejor manera de usar estos recursos. En muchos casos, el instructor le pedirá que comprenda cómo se hacen los cálculos a mano. Por lo menos, el software proporciona una verificación de sus cálculos. Cuando los cálculos son muy complejos y la meta es interpretar los resultados al tomar una decisión, el software sustituye por completo los cálculos manuales.

1. Todos los días, la Vampire Van recoge de Maplewood Hospital sangre y donaciones de plaquetas hechas en sus centros de donación locales. Las distancias en millas entre todas las localizaciones se encuentran en la tabla 13.3.
   a) La Vampire Van viaja de Maplewood Hospital (A) a (B) a (C) a (D) a (E) y luego regresa al hospital (A). ¿Cuál es el número total de millas que debe recorrer la van por esta ruta?
   b) Con Maplewood Hospital como el lugar inicial, cree una ruta aplicando la heurística del vecino más cercano. ¿Cuál es el número total de millas que debe recorrer la van por esta ruta?
   c) Utilice Valley Hills (E) como el lugar inicial para crear una ruta con la heurística del vecino más cercano. ¿Cuál es el número total de millas que debe recorrer la van por esta ruta?

2. Royal Seafood entrega aleta fresca y mariscos a tiendas especializadas en el estado de Oregon. La compañía empaca un camión de entregas en Corvallis y luego conduce por una sola ruta hasta sus cinco clientes esparcidos por todo el estado. Las distancias en millas entre todas las localizaciones se dan en la tabla que sigue.

	Corvallis [A]	Roseburg [B]	Bend [C]	Baker [D]	Lakeview [E]	Burns [F]
Corvallis [A]	–	93	102	268	219	220
Roseburg [B]	93	–	116	296	167	216
Bend [C]	102	116	–	181	138	117
Baker [D]	268	296	181	–	223	106
Lakeview [E]	219	167	138	223	–	118
Burns [F]	220	216	117	106	118	–

   a) Proponga una ruta eficiente aplicando la heurística del vecino más cercano con Corvallis como la ciudad inicial. ¿Cuál es la distancia total de viaje?
   b) Aplique la heurística del vecino más cercano para calcular cinco rutas, cada una comenzando en la localización de uno de los clientes de Royal Seafood. ¿Cuál es la mejor ruta para Royal Seafood?

3. Los jueves, Traxis Consolidated entrega oxígeno líquido a sus clientes industriales en el norte de Michigan. La tabla siguiente proporciona el tiempo de manejo en minutos entre todos los clientes y el lugar del almacén del oxígeno líquido de Traxis.

	A (depósito)	B	C	D	E	F	G	H
A (depósito)	–	26	38	31	49	33	40	52
B	26	–	53	54	75	35	56	73
C	38	53	–	46	45	68	70	77
D	31	54	46	–	25	41	30	32
E	49	75	45	25	–	69	55	44
F	33	35	68	41	69	–	27	50
G	40	56	70	30	55	27	–	21
H	52	73	77	32	44	50	21	–

   a) En la actualidad, Traxis viaja del almacén a (A) a (F) a (G) a (D) a (E) a (H) a (B) a (C), luego regresa a (A). ¿Cuál es el tiempo de manejo total por esta ruta?
   b) Tome el almacén (A) como la locación inicial, cree una ruta con la heurística del vecino más cercano. ¿Cuál es el tiempo de manejo total por esta ruta?
   c) Aplique la heurística del vecino más cercano para calcular siete rutas, cada una desde las localizaciones de los clientes de Traxis como punto inicial. ¿Cuáles son las conclusiones?

4. Big Jim quita la nieve para cinco clientes residenciales en el norte de New Hampshire. Colocando un sistema de coordenadas cartesianas sobre un mapa de su área de servicio, con su casa en el origen (A), Big Jim ve que sus cinco clientes se encuentran en las coordenadas B (10,40); C (22,20); D (35,37); E (40,25); F (50,40). Tiene dos maneras de medir la distancia entre sus clientes: euclidiana y rectilínea (véase el capítulo 3, "Estrategia de procesos" y en la sección sobre distribución revise las definiciones de estas medidas). Big Jim se pregunta si su método de medir distancias afectará la secuencia de localizaciones de los clientes que debe visitar para minimizar sus costos de energía.
   a) Utilice la heurística del vecino más cercano para encontrar la mejor ruta para Big Jim, suponiendo que está interesado en minimizar la distancia euclidiana.
   b) Utilice la heurística del vecino más cercano para encontrar la mejor ruta para Big Jim, suponiendo que desea minimizar la distancia rectilínea.

TABLA 13.3 | DATOS DE MILLAS PARA VAMPIRE VAN

	Maplewood Hospital (A)	Sitio City Center Donation (B)	Sitio Westbrook Donation (C)	Sitio Municipal Park Donation (D)	Sitio Valley Hills Donation (E)
Maplewood Hospital (A)	–	3.0	3.5	4.0	4.1
Sitio City Center Donation (B)	3.0	–	6.1	7.0	4.3
Sitio Westbrook Donation (C)	3.5	6.1	–	4.2	3.6
Sitio Municipal Park Donation (D)	4.0	7.0	4.2	–	7.2
Sitio Valley Hills Donation (E)	4.1	4.3	3.6	7.2	–

5. Arts N Crafts Industries fabrica lámparas de lujo de venta internacional. La compañía es responsable de pagar el envío de sus productos a un distribuidor local en Atlanta, Georgia. Debido al alto costo del envío, la compañía está considerando enviar los productos sin ensamblarlos, pero incluirá las instrucciones detalladas para el ensamble en cada paquete. Al enviar los productos sin ensamblar, Arts N Crafts podrá encoger el tamaño de sus cajas y con ello aumentar el número de productos por tarima de 16 (4 filas de 4) a 25 (5 filas de 5). Observe que este cambio no tendrá un aumento apreciable en el peso de envío de 8 libras de cada producto. Más aún, como las lámparas individuales quedarán más apretadas en el empaque, serán menos susceptibles de daño y más fáciles de manejar. Así, la compañía espera que la clase de carga disminuya de 85 a 70. Por ahora, la compañía envía 400 unidades por semana.
   a) Utilice la tabla 13.2 para evaluar el impacto del cambio propuesto en empaque sobre el costo semanal de envío.
   b) ¿En qué cambiaría su análisis si la demanda del producto aumenta a 500 unidades por semana?

6. Microtech Incorporated ha decidido empacar su teléfono celular en un empaque más pequeño, reciclable. Además, la compañía descontinuará la práctica de enviar cada teléfono con un manual del usuario de 250 páginas y en su lugar poner el manual disponible en Internet. Estos cambios darán como resultado un empaque más ligero, pero más difícil de manejar para envío. El peso de cada teléfono empacado baja de 1.2 libras a 0.5 libras con estos cambios y la clasificación de la carga empeora de 55 a 70. Utilice la tabla 13.2 para calcular la diferencia en los cargos mensuales de envío para Microtech, si envía 10,000 teléfonos por mes.

CASO EN VIDEO — Sustentabilidad de la cadena de suministro en Clif Bar & Company

Cuando Gary Erickson comenzó uno de sus recorridos típicos de larga distancia en bicicleta en 1990, esperaba tener un gran paseo. Lo que no esperaba era regresar a casa con la idea de una barra energética nutritiva deportiva que se convirtió en el génesis de Clif Bar & Company.

Después de consumir la mayoría de su reserva de barras de energía en parte de su recorrido de 175 millas, Erickson no soportaba la idea de comer otra. En su lugar, se imaginó que podía hacer algo mejor. Muchas veces, a los entusiastas del deporte no les importa comer en grandes cantidades mientras están en el camino o en la pista. ¿El resultado? La CLIF® BAR, una combinación todo natural de granos, nueces y fruta con mucho más sabor que la barra de energía estándar de la época.

Hoy, la compañía con base en Berkeley, California, tiene más de 100 unidades mantenidas en inventario, o SKU, en su mezcla de productos, incluyendo numerosas versiones llenas de sabor de la CLIF BAR original, además de marcas como LUNA®, The Whole Nutrition Bar for Women™; CLIF Kid Organic ZBaR™, The Whole Grain Energy; CLIF Mojo™, The Sweet & Salty Trail Mix Bar y CLIF Nectar®, una barra orgánica de fruta y nueces hecha con solo cinco ingredientes. Las CLIF BAR se distribuyeron originalmente en las tiendas de ciclismo y otros nichos de mercado, pero ahora se pueden encontrar en una gran variedad de tiendas de Estados Unidos, como Whole Foods, Trader Joe's e incluso en el supermercado cercano.

Desde el principio, la CLIF BAR estaba hecha con ingredientes saludables. Pero cuando Erickson revisó los ingredientes que se compraban para la CLIF BAR, se dio cuenta de que hacer un producto alimenticio sano y comprar ingredientes de granjeros, rancheros y cooperativas que usaban técnicas orgánicas de cultivo era un ajuste "natural". La compañía se comprometió con las técnicas de cultivo sustentables y con el uso exclusivo de ingredientes orgánicos desde entonces y, para 2003, había hecho la CLIF BAR certificada como 70% orgánica. Desde entonces, seis de las marcas CLIF BAR y LUNA de la compañía se hacen con 70% de ingredientes orgánicos o más.

El impacto sobre la cadena de suministro por la compra de ingredientes orgánicos fue tremendo. Primero, hay un número limitado —pero creciente— de cultivadores orgánicos de los ingredientes que utiliza Clif Bar. Segundo, los cultivos sin pesticidas, herbicidas y plantas genéticamente modificadas tienen el riesgo de producir cosechas más pequeñas. Tercero, puede ser más costoso almacenar los ingredientes. Cuarto, conforme más compañías se comprometen con los programas de responsabilidad ambiental y los ingredientes orgánicos, la competencia por el abastecimiento global crece.

Quienes pronostican y planean en la compañía trabajan duro para manejar tanto los flujos de inventario de ingredientes crudos de los proveedores río arriba como los flujos de productos terminados río abajo hasta los clientes, para asegurar que los productos están disponibles en las cantidades correctas, en los lugares correctos. Se agregan las órdenes de materia prima y materiales para empaque para proporcionar fuentes eficientes. La producción se planea con base en los pronósticos de entrada y salida, para maximizar el servicio a clientes y minimizar el inventario. Varias veces al año, los planes de producción se comparten con los socios de negocios en todos los puntos de la cadena de suministro para asegurar que el flujo de ingredientes y productos sea parejo y que los inventarios no se acumulen en ningún punto de la cadena más allá de los volúmenes planeados. Los pronósticos mensuales y los cambios en la planeación también se comunican a los proveedores de la cadena.

Los administradores de Clif Bar & Company saben que el gusto del consumidor de los productos cambia con regularidad, de manera que periódicamente se introducen nuevos sabores y marcas. De igual modo, algunas veces se retiran sabores para que haya lugar para los nuevos. Conforme el equipo de investigación y desarrollo de la compañía prepara un cambio a una idea nueva del producto desde la cocina de pruebas hasta la planta de fabricación, los administradores de la cadena de suministro deben ponerse a trabajar para asegurar la procuración de cualesquiera ingredientes nuevos.

Como compañía pequeña y privada, Clif Bar no es dueña de las plantas de manufactura ni los centros de distribución y confía en los acuerdos contractuales con los contratistas de Estados Unidos. Estos socios de negocios de la cadena de suministro se eligen con cuidado por su habilidad de fabricar y distribuir los productos de Clif Bar, su compromiso con la calidad y su aceptación del sistema de valores de Clif Bar. Este sistema de valores, conocido como las "Cinco aspiraciones" de la compañía, sostiene que Clif Bar & Company trabajará hacia la sustentabilidad de su gente, marcas, negocios, comunidad y el planeta. Greg Ginsburg, vicepresidente de la cadena de suministro, desea estar seguro de que todas las partes de la cadena —propiedad de la compañía o no— están de acuerdo con estas aspiraciones. "Revisamos sus fuentes de energía, prácticas laborales y entornos de trabajo. Cuando compramos productos de pequeñas cooperativas, iremos tan atrás como sea posible para asegurar que esos pequeños campesinos conocen nuestras expectativas", dice Ginsbug.

PREGUNTAS

1. ¿De qué maneras tiene Clif Bar una cadena de suministro sustentable?
2. Respecto a la responsabilidad financiera, ¿qué riesgo de negocios enfrenta Clif Bar & Company con tantas partes de su cadena de suministro contratadas?
3. ¿Qué aspectos o riesgos para la sustentabilidad puede encontrar Clif Bar & Company si elige expandirse a los mercados internacionales?

Referencias seleccionadas

Beamon, Benita M. "Environmental and Sustainability Ethics in Supply Chain Management". *Science and Engineering Ethics*, vol. 11 (2005), pp. 221-234.

Beschorner, Thomas y Martin Muller. "Social Standards: Toward an Active Ethical Involvement of Business in Developing Countries". *Journal of Business Ethics*, vol. 73 (2006), pp. 11-23.

Bonini, Sheila, Steven Gomer y Alissa Jones. "How Companies Manage Sustainability". *McKinsey & Company Global Survey Results* (febrero, 2010), pp. 1-8.

Carter, C.R. y M.M. Jennings. "The Role of Purchasing in Corporate Social Responsibility". *Journal of Business Logistics*, vol. 25, núm. 1 (2004), pp. 145-186.

Conner, Martin P. "The Supply Chain's Role in Leveraging Product Life Cycle Management". *Supply Chain Management Review* (marzo, 2004), pp. 36-43.

Curkovic, Sime y Robert Sroufe. "Using ISO 14001 to Promote a Sustainable Supply Chain". *Business Strategy and the Environment*, vol. 20 (2011), pp. 71-93.

Day, J.M., I. Junglas y L. Silva. "Information Flow Impediments in Disaster Relief Supply Chains". *Journal of the Association for Information Systems*, vol. 10, núm. 8 (agosto 2009), pp. 637-660.

Drake, Matthew J. y John Teepen Schlachter. "A Virtue-Ethics Analysis of Supply Chain Collaboration". *Journal of Business Ethics*, vol. 82 (2007), pp. 851-864.

Ferguson, Mark. "Making Your Supply Chain More Sustainable by Closing the Loop". *The European Business Review* (noviembre-diciembre, 2010), pp. 28-31.

Fiksel, Joseph, Douglas Lambert, Les B. Artman, John A. Harris y Hugh M. Share. "Environmental Excellence: The New Supply Chain Edge". *Supply Chain Management Review* (julio/agosto, 2004), pp. 50-57.

"Global Responsibility," *RR Donnelley*, (2010), pp. 1-21.

Handfield, Robert B. y David L. Baumer. "Managing Conflicts of Interest in Purchasing". *Journal of Supply Chain Management* (verano, 2006), pp. 41-50.

Handfield, Robert, S. Walton, Robert Sroufe y Steven Melnyk. "Applying Environmental Criteria to Supplier Assessment: A Study of the Application of the Analytical Hierarchy Process". *European Journal of Operational Research*, vol. 41, núm. 1 (2002), pp. 70-87.

Hartvigsen, David. *SimQuick: Process Simulation with Excel*, 2a. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2004.

Hindo, Brian. "Everything Old is New Again". *Business Week* (25 de septiembre, 2006), pp. 64-70.

"How to Calculate the Weight Break", http://freightlogistics.wordpress.com (19 de diciembre, 2007).

Keating, B., A. Quazi, A. Kriz y T. Coltman. "In Pursuit of a Sustainable Supply Chain: Insights from Weatpac Banking Corporation". *Research Online*, http://ro.uow.edu.au/infopapers/688 (2008).

Kulwiec, Ray. "Reverse Logistics Provides Green Benefits". *Target*, vol. 22, núm. 3 (Third Issue 2006), pp. 11-20.

Lacy, Peter, Tim Cooper, Rob Hayward y Lisa Neuberger. "A New Era of Sustainability, *UN Global Compact-Accenture CEO Study 2010*, (junio, 2010), pp. 1-60.

Lillywhite, Serena. "Responsible Supply Chain Management: Ethical Purchasing in Practice". *Brotherhood of St. Laurence* (octubre, 2004), pp. 1-5.

Maon, Francois, Adam Lindgreen y Joelle VanHamme. "Supply Chains in Disaster Relief Operations: Cross-Sector Socially Oriented Collaborations". *Hull University Business School*, Research Memorandum 80 (abril, 2009), pp. 1-35.

Martha, Joseph y Sunil Subbakrishna. "Targeting a Just-In-Case Supply Chain for the Inevitable Next Disaster". *Supply Chain Management Review* (septiembre/octubre, 2002), pp. 18-23.

Melnyk, Steven, E.W. Davis, R.E. Speckman y J. Sandor. "Outcome Driven Supply Chains". *Sloan Management Review*, vol. 51, núm. 2 (2010), pp. 33-38.

Meyer, Tobias A. "Increasing the Energy Efficiency of Supply Chains". *McKinsey Quarterly* (agosto, 2009), pp. 1-2.

Mollenkopf, Diane A. y David J. Closs. "The Hidden Value in Reverse Logistics". *Supply Chain Management Review* (julio/agosto, 2005), pp. 34-43.

Plambeck, Erica L. "The Greening of Walmart's Supply Chain". *Supply Chain Management Review* (julio/agosto, 2007), pp. 18-25.

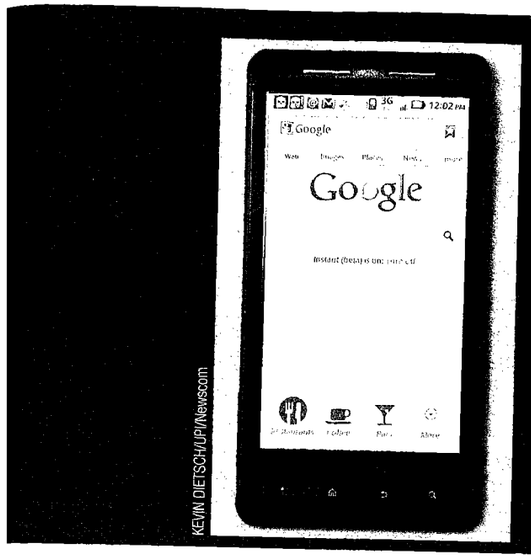
"Social Accountability International-SA8000", http://www.sa-intl.org (2011).

Thomas, A. y L. Kopczak. "Life-Saving Supply Chains and the Path Forward", en Lee, H. y C.Y. Lee (eds.) *Building Supply Chain Excellence in Emerging Economies*, Londres, Springer Science and Business Media LLC, 2007.

Van Wassenhove, L. "Humanitarian Aid Logistics: Supply Chain Management in High Gear". *Journal of the Operational Research Society*, vol. 57, núm. 5 (2006), pp. 475-489.

Whybark, D.C. "Issues in Managing Disaster Relief Inventories". *International Journal of Production Economics*, vol. 108, núm. 1 (julio, 2007), pp. 228-235.

Whybark, D.C., Steven A. Melnyk, Jamison Day y Ed Davis. "Disaster Relief Supply Chain Management: New Realities, Management Challenges, Emerging Opportunities". *Decision Line* (mayo, 2010), pp. 4-7.



14 PRONÓSTICOS

Un teléfono Motorola Droid despliega la página de entrada de Google en Washington, D.C. el 15 de agosto de 2011. Google Inc. compró al fabricante Motorola Mobility en $12,500 millones. Motorola mejoró considerablemente su proceso de pronósticos de demanda, con compensaciones en la manera de manejar su cadena de suministro.

Motorola Mobility

Motorola Mobility fabrica teléfonos celulares, teléfonos inteligentes, tabletas y decodificadores. A principios de la década de 2000, el liderazgo y porcentaje de mercado de Motorola se erosionaban. Motorola se dio cuenta de que debía transformar su cadena de suministro y emprendió una iniciativa importante para estrechar las comunicaciones y la colaboración en toda su cadena. En 2002, puso en acción su programa de planeación, pronósticos y reabastecimiento colaborativos (CPFR, por las siglas de *collaborative planning, forecasting and replenishment*). La recompensa ha sido significativa.

Motorola vende más de 120 modelos de teléfonos en el mundo. Pronosticar cuántos, de qué modelos hacer y vender es difícil, y el reabastecimiento preciso de los anaqueles de las tiendas es crucial. Si no hay el teléfono favorito de un cliente, existe el riesgo real de que Motorola pierda al cliente para siempre, no solo para el siguiente contrato de servicio. Aproximadamente, la mitad de todos los faltantes resultan en ventas perdidas. Para empeorar la situación, un modelo de teléfono puede tener múltiples SKU, los ciclos de vida promedian un poco más de un año y la introducción de nuevos productos es rápida.

Antes de adoptar el programa CPFR, las ventas de Motorola Mobility eran muy variables y no estaban sincronizadas con la demanda de los clientes. Motorola tenía visibilidad solo para sus envíos a los centros de distribución a minoristas, pero no para los envíos de los centros de distribución a las tiendas. Saber qué tiendas venden es información mucho más valiosa para pronosticar la demanda futura que saber qué minoristas están comprando. Sin esta información, los errores en los pronósticos eran altos y el resultado era demasiados faltantes. CPFR permitió a Motorola colaborar con los clientes

de sus centros de distribución e incrementar su habilidad para pronosticar con efectividad. Motorola lanzó un cambio en toda la organización hacia equipos de operaciones centrados en el cliente. Compartieron con los distribuidores sus datos y planes en tiempo real, incluyendo pronósticos, inventarios, ventas a tiendas, promociones, planes de producto y excepciones. Por tradición, los proveedores y compradores en la mayoría de las cadenas de suministro preparaban pronósticos de demanda independientes.

Antes de CPFR, los pronósticos de las tiendas se desarrollaban al final de la segunda semana de cada mes, mientras que Motorola montaba su plan de ventas y promociones antes, en la segunda semana. Motorola convenció a las tiendas de mover su ciclo de planeación solo dos o tres días, lo cual eliminaba la diferencia del pronóstico de siete semanas que resultaba al no incorporar el pronóstico hasta el ciclo de planeación del siguiente mes. Ahora las tiendas cargan sus pronósticos para el siguiente mes los lunes. Los martes, Motorola carga su pronóstico. Durante la llamada semanal, los miércoles, los dos equipos resuelven juntos las discrepancias, línea por línea. La inclusión de un analista de pronósticos significa que pueden resolver de inmediato aspectos que surgen a partir de esas discrepancias.

La clave real para una implementación exitosa de CPFR es establecer una alianza cultural que involucra las relaciones entre iguales y equipos multifuncionales. Antes de CPFR, las tiendas solían dar a Motorola calificaciones "C", "D" y "F" en métricas como entrega a tiempo, facilidad para hacer negocios y faltantes. Después de CPFR, dan a Motorola calificaciones de "A". La iniciativa de CPFR redujo los errores de pronósticos a una fracción de su nivel anterior, permitió reducciones inmediatas en su inventario de seguridad, disminuyó los costos de transporte a la mitad por tener muy pocos envíos de camiones no llenos y redujo los faltantes a menos de un tercio de los niveles anteriores. Este éxito fue una razón por la que Google pagó tanto ($12,500 millones) para comprar el negocio de teléfonos celulares de Motorola en agosto de 2011.

Fuente: Jerold P. Cederlund, Rajiv Kohli, Susan A. Sherer y Yuliang Yao, "How Motorola Put CPFR into Action", *Supply Chain Management Review* (octubre, 2007), pp. 28-35; Sharyn Leaver, Patrick Connaughton y Elisse Gaynor, "Case Study: Motorola's Quest for Supply Chain Excellence", *Forrester Research, Inc.* (octubre, 2006), pp. 1-12, **www.motorola.com**, 29 de abril, 2011; Amir Efrati y Spencer A. Ante, "Google's $12.5 Billion Gamble", *The Wall Street Journal*, 12 de agosto, 2011.

METAS DE APRENDIZAJE *Después de estudiar este capítulo, usted será capaz de:*

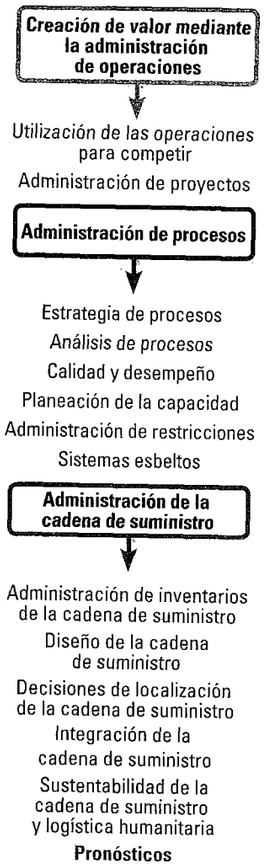
1. Identificar los cinco patrones básicos de la mayoría de las series de tiempo de demanda.
2. Identificar las diferentes medidas de errores de pronósticos.
3. Utilizar regresión para pronosticar con una o más variables independientes.
4. Obtener pronósticos con los enfoques más comunes para el análisis de series de tiempo.
5. Obtener pronósticos utilizando la proyección de tendencia con regresión.
6. Describir un proceso de pronósticos típico aplicado en los negocios.
7. Explicar la iniciativa de planeación, pronósticos y reabastecimiento colaborativos (CPFR).

pronóstico
Predicción de eventos futuros utilizada con fines de planeación.

El equilibrio entre la oferta y la demanda comienza obteniendo pronósticos precisos y luego conciliándolos en toda la cadena de suministro, como muestra Motorola Mobility. Un **pronóstico** es una predicción de eventos futuros utilizada con fines de planeación. La planeación, por otra parte, es el proceso de tomar decisiones administrativas acerca de cómo emplear los recursos para responder mejor a los pronósticos de demanda. Los métodos de pronósticos pueden basarse en modelos matemáticos que utilizan los datos históricos disponibles o en métodos cualitativos que recurren a la experiencia y el juicio de los administradores o una combinación de los dos.

En este capítulo centramos la atención en los pronósticos de la demanda. Comenzamos con diferentes tipos de patrones de demanda. Examinamos los métodos de pronósticos en tres categorías básicas: **1.** juicio, **2.** causales y **3.** series de tiempo. Se definen los errores de pronósticos que proporcionan pistas importantes para obtener mejores pronósticos. Después consideramos las técnicas de pronósticos en sí y luego la forma en que se pueden combinar para dar información de varias fuentes. Concluimos con los procesos generales para pronosticar y diseñar el sistema de pronósticos.

Los pronósticos son útiles para administrar los procesos y administrar la cadena de suministro. En el nivel de cadena de suministro, una empresa necesita pronósticos para coordinarse con sus clientes y proveedores. A nivel de procesos, la salida de los pronósticos se necesita para diseñar los diferentes procesos en toda la organización, incluyendo identificar y manejar los cuellos de botella internos.



Pronósticos en toda la organización

El proceso de pronósticos en toda la organización atraviesa las áreas funcionales. Pronosticar la demanda global suele originarse en marketing, pero los clientes internos en toda la organización también dependen de los pronósticos para formular y ejecutar sus planes. Los pronósticos constituyen información crucial para los planes de negocios, los planes anuales y los presupuestos. Finanzas necesita los pronósticos para proyectar los flujos de efectivo y los requerimientos de capital. Recursos humanos los utiliza para anticipar las necesidades de contratación y capacitación. Marketing es una fuente importante para la información de pronósticos de ventas porque está más cerca de los clientes externos. Los administradores de operaciones y de cadenas de suministro deben tener pronósticos para planear niveles de producción, compras de servicios y materiales, fuerza de trabajo, programación de la producción, inventarios y capacidades a largo plazo.

Los administradores en toda la organización obtienen pronósticos sobre muchas variables diferentes a la demanda futura, como estrategias de competidores, cambios regulatorios, cambios tecnológicos, tiempos de proceso, tiempos de entrega de los proveedores y pérdidas de calidad. Las herramientas para hacer estos pronósticos son en esencia las mismas que se cubren aquí para pronosticar la demanda: juicio, opiniones de personas experimentadas, promedios de datos, regresión y técnicas de series de tiempo. Utilizar estas herramientas puede mejorar los pronósticos. No obstante, los pronósticos rara vez son perfectos. Como dijo Samuel Clemens (Mark Twain) en *Siguiendo el Ecuador*, "la profecía es una buena línea de negocios, pero está llena de riesgos". Los administradores inteligentes reconocen esta realidad y encuentran maneras de actualizar sus planes cuando ocurre el error inevitable de pronósticos o un evento inesperado.

Patrones de demanda

Es difícil pronosticar la demanda del cliente porque la demanda de servicios o bienes podría variar considerablemente. Por ejemplo, es predecible que la demanda de fertilizante para pasto aumenta en los meses de primavera y verano, pero los fines de semana específicos en que la demanda es alta pueden depender de factores incontrolables como el clima. Algunas veces, los patrones son más predecibles. Así, las horas pico del día para un centro de llamadas de un banco grande son de 9:00 a.m. a 12:00 p.m. y el día pico de la semana es el lunes. Para su proceso de presentación de declaraciones, los meses pico son enero, abril, julio y octubre, que es cuando se envían las declaraciones trimestrales. Pronosticar la demanda en estas situaciones requiere descubrir los patrones subyacentes a partir de la información disponible. En esta sección analizamos los patrones básicos de la demanda.

Las observaciones repetidas de la demanda de un servicio o producto en su orden de ocurrencia forman un patrón conocido como **serie de tiempo**. Existen cuatro patrones básicos de la mayoría de las series de tiempo de demanda.

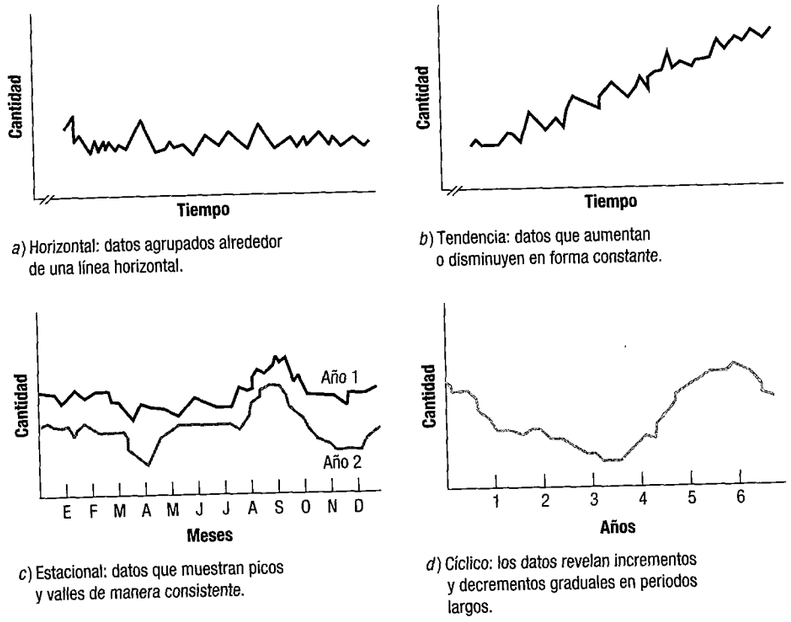
series de tiempo
Observaciones repetidas de la demanda de un servicio o producto en su orden de ocurrencia.

1. *Horizontal.* Fluctuación de datos alrededor de una media constante.
2. *Tendencia.* Incremento o decremento sistemático en la media de la serie en el tiempo.
3. *Estacional.* Un patrón que se repite de incrementos o decrementos en la demanda, dependiendo del tiempo del día, semana, mes o temporada.
4. *Cíclico.* Los menos predecibles incrementos o decrementos graduales de la demanda en periodos más largos (años o décadas).
5. *Aleatorio.* La variación impredecible de la demanda.

Los patrones cíclicos surgen de dos influencias. La primera es el ciclo de negocios: incluye factores que ocasionan que la economía vaya de recesión a expansión en cierto número de años. La otra influencia es el ciclo de vida del servicio o producto, que refleja las etapas de la demanda desde el desarrollo hasta la declinación. La demanda en los ciclos de negocios es difícil de predecir porque la afectan eventos nacionales e internacionales.

Los cuatro patrones de demanda —horizontal, tendencia, estacional y cíclico— se combinan en varios grados para definir el patrón de tiempo subyacente de la demanda de un servicio o producto. El quinto patrón, la variación aleatoria, es resultado del azar y por ello no se puede predecir. La variación aleatoria es un aspecto de la demanda que al final hace que la demanda sea inexacta.

FIGURA 14.1 ▶
Patrones de demanda



La figura 14.1 muestra los primeros cuatro patrones de una serie de tiempo de demanda; todos ellos contienen variaciones aleatorias.

Decisiones clave para obtener pronósticos

Antes de utilizar las técnicas de pronósticos, un administrador debe tomar dos decisiones: **1.** qué pronosticar y **2.** qué tipo de técnica de pronósticos seleccionar para diferentes artículos.

Decisión de qué pronosticar

Aunque se necesita cierto tipo de estimación de la demanda para los servicios o bienes individuales producidos por una compañía, pronosticar la demanda total para grupos o derivar el pronóstico individual de servicios o productos puede ser lo más sencillo. Además, seleccionar la unidad correcta de medición (por ejemplo, unidades de servicio o producto u horas-máquina) para pronosticar sería tan importante como elegir el mejor método.

Nivel de agregación Pocas compañías se equivocan en más de 5% cuando pronostican la demanda total anual para todos sus servicios o productos. Sin embargo, los errores en los pronósticos para los artículos individuales y periodos más cortos pueden ser mucho más altos. Al reconocer esta realidad, muchas compañías utilizan un sistema de pronósticos de dos niveles. Primero agrupan varios servicios o productos similares en un proceso llamado **agregación** y obtienen pronósticos para familias de servicios o bienes que tienen requerimientos de demanda similares y procesos, mano de obra y materiales comunes. Después, derivan pronósticos para los artículos individuales, que algunas veces se llaman unidades mantenidas en inventario. Una unidad mantenida en inventario (*SKU, stock keeping units*) es un artículo o producto individual que tiene un código de identificación y se mantiene en inventario en algún punto de la cadena de suministro, como en un centro de distribución.

agregación
Acción de agrupar varios servicios o productos similares de manera que puedan obtenerse pronósticos y planes para familias completas.

Unidades de medición En lugar de usar dólares como la unidad inicial de medición, los pronósticos con frecuencia comienzan con unidades de producto o servicio, como SKU, paquetes de entrega exprés o clientes que necesitan servicios de mantenimiento o reparaciones en sus automóviles. Las unidades pronosticadas pueden traducirse en dólares multiplicando por su precio unitario. Si no es posible pronosticar con exactitud la demanda de un servicio o producto en términos de número de unidades, se pronostica la mano de obra estándar o las horas-máquina necesarias para cada recurso crítico.

Selección del tipo de técnica de pronósticos

Los sistemas de pronósticos ofrecen una variedad de técnicas, y ninguna es la mejor para todos los artículos y situaciones. El objetivo de pronosticar es desarrollar un pronóstico útil a partir de la información disponible con la técnica apropiada para los diferentes patrones de demanda. Se utilizan dos tipos generales de técnicas de pronósticos: métodos de juicio subjetivo y métodos cuantitativos. Los **métodos de juicio** traducen opiniones de administradores, opiniones de expertos, encuestas de clientes y estimaciones de la fuerza de ventas en estimaciones cuantitativas. Los métodos cuantitativos incluyen métodos causales, análisis de series de tiempo y proyección de tendencias con regresión. Los **métodos causales** utilizan datos históricos de variables independientes, como campañas promocionales, condiciones económicas y acciones de los competidores para predecir la demanda. El **análisis de series de tiempo** es un enfoque estadístico que se apoya en los datos históricos de la demanda para proyectar el tamaño futuro de la demanda y reconoce los patrones de tendencia y estacionales. La **proyección de tendencia con regresión** es un híbrido entre las técnicas de series de tiempo y el método causal.

métodos de juicio
Método de pronósticos que traduce las opiniones de administradores, opiniones de expertos, encuestas de clientes y estimaciones de la fuerza de ventas en estimaciones cuantitativas.

métodos causales
Método de pronósticos cuantitativos que utiliza datos históricos de variables independientes, como campañas promocionales, condiciones económicas y acciones de los competidores para predecir la demanda.

análisis de series de tiempo
Enfoque estadístico que se apoya en los datos históricos de la demanda para proyectar el tamaño futuro de la demanda y reconoce los patrones de tendencia y estacionales.

proyección de tendencia con regresión
Modelo de pronósticos; es un híbrido entre las técnicas de series de tiempo y el método causal.

Error de pronóstico

Para cualquier técnica de pronósticos, es importante medir la exactitud de sus pronósticos. Los pronósticos siempre contienen errores. El error aleatorio es resultado de factores impredecibles que ocasionan que el pronóstico se desvíe de la demanda real. Los analistas de pronósticos intentan minimizar los errores seleccionando los modelos de pronósticos adecuados, pero eliminar todas las formas de error es imposible.

El **error de pronóstico** para un periodo dado t es sencillamente la diferencia encontrada al restar el pronóstico a la demanda real; o sea,

$$E_t = D_t - F_t$$

donde,

E_t = error de pronóstico para el periodo t
D_t = demanda real para el periodo t
F_t = pronóstico para el periodo t

Esta ecuación (observe el orden alfabético con D_t antes de F_t) es el punto de partida para crear varias medidas de error de pronóstico que cubre periodos más largos. La figura 14.2 muestra la salida de la rutina de *análisis del error* en el menú desplegable de pronósticos (*Forecasting*) de POM para Windows. El inciso *a*) brinda un panorama general de lo bien que un pronóstico sigue a la demanda real. El inciso *b*) muestra los cálculos detallados necesarios para obtener el resumen de los términos de error. Por último, el inciso *c*) da las medidas de error resumidas para los 10 periodos, como se derivaron en el inciso *b*).

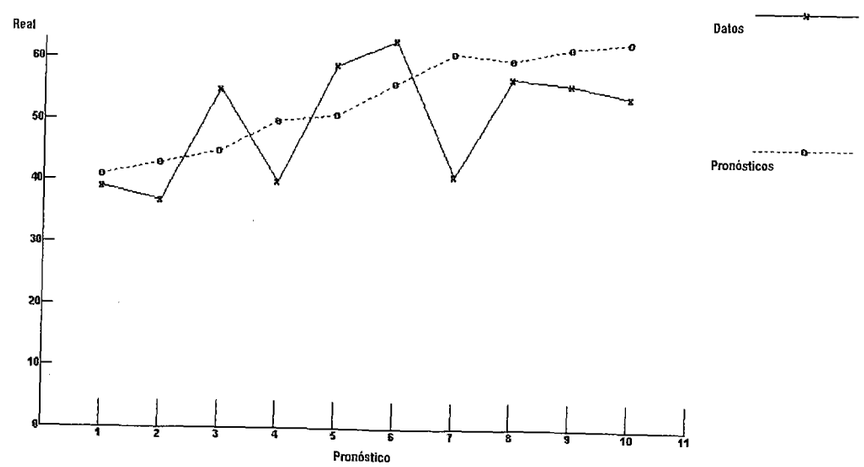
La **suma acumulada de errores de pronóstico (SAE)** mide el error de pronóstico total:

$$\text{SAE} = \sum E_t$$

La SAE es una suma acumulada. La figura 14.3*b*) muestra que es la suma de errores para los 10 periodos. Para cualquier periodo dado, sería la suma de errores hasta ese periodo. Por ejemplo, para el periodo 2, sería –8 (– 2 – 6). La SAE también recibe el nombre de *error de sesgo* y es el resultado de errores consistentes, el pronóstico siempre es demasiado alto o demasiado bajo. Este tipo de error suele ser causa de la mayor desorganización de los esfuerzos de planeación. Por ejemplo, si un pronóstico es siempre menor que la demanda real, el valor de la suma acumulada será cada vez mayor. Este error creciente indica alguna deficiencia sistemática en el enfoque de pronósticos. El error de pronóstico promedio, algunas veces llamado *sesgo medio*, es sencillamente

$$\bar{E} = \frac{\text{SAE}}{n}$$

suma acumulada de errores de pronóstico (SAE)
Medida del error total del pronóstico que evalúa el sesgo de un pronóstico.



◀ **FIGURA 14.2*a)***
Gráfica de la demanda real y pronosticada utilizando *análisis del error* de pronósticos en POM para Windows

▶ **FIGURA 14.2*b)***
Cálculos detallados de errores de pronóstico

		Forecast	Error	|Error|	Error^2	|Pct Error|
Past period 1	39	41	-2	2	4	5.128%
Past period 2	37	43	-6	6	36	16.216%
Past period 3	55	45	10	10	100	18.182%
Past period 4	40	50	-10	10	100	25%
Past period 5	59	51	8	8	64	13.559%
Past period 6	63	56	7	7	49	11.111%
Past period 7	41	61	-20	20	400	48.78%
Past period 8	57	60	-3	3	9	5.263%
Past period 9	56	62	-6	6	36	10.714%
Past period 10	54	63	-9	9	81	16.667%
TOTALS	501		-31	81	879	170.621%
AVERAGE	50.1		-3.1	8.1	87.9	17.062%
			(Bias)	(MAD)	(MSE)	(MAPE)
				Std dev	29.648	

error medio cuadriático (EMC)
Medida de dispersión de los errores de pronóstico

desviación estándar (σ)
Medida de dispersión de los errores de pronóstico

desviación absoluta media (DAM)
Medida de dispersión de los errores de pronóstico

El **error medio cuadrático (EMC)**, la **desviación estándar de los errores** (σ) y la **desviación absoluta media (DAM)** miden la dispersión de los errores de pronóstico atribuidos a los efectos de tendencia, estacionalidad y aleatoriedad:

$$\text{EMC} = \frac{\sum E_t^2}{n}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (E_t - \bar{E})^2}{n-1}}$$

$$\text{DAM} = \frac{\sum |E_t|}{n}$$

La figura 14.2*b)* muestra que el cuadrado del error en el periodo 1 es 4, y el EMC es 87.9 para toda la muestra. La desviación estándar de los errores se calcula usando una de las funciones disponibles en Excel y no se muestra en la figura 14.2*b)*. El valor absoluto del error en el periodo 2 es 6 y DAM es 8.1 para toda la muestra.

El símbolo matemático | | se utiliza para indicar el valor absoluto; es decir, señala que deben ignorarse los símbolos positivo o negativo. Si EMC, σ o DAM es pequeño, el pronóstico suele ser cercano a la demanda real; por el contrario, un valor grande indica la posibilidad de errores de pronóstico grandes. Las medidas difieren en la forma en que resaltan los errores. Los errores grandes tienen mucho más peso para EMC y σ porque se elevan al cuadrado. DAM es una medida ampliamente utilizada para el error de pronóstico y se comprende con facilidad; es meramente la media de los errores de pronóstico absolutos sobre una serie de periodos, sin importar si el error sobreestima o subestima el valor.

error porcentual absoluto medio (EPAM)
Medida que relaciona el error de pronóstico con el nivel de demanda y se utiliza para tener una perspectiva adecuada del desempeño del pronóstico.

El **error porcentual absoluto medio (EPAM)** relaciona el error de pronóstico con el nivel de demanda y es útil para tener una perspectiva adecuada del desempeño del pronóstico.

$$\text{EPAM} = \frac{(\sum |E_t|/D_t)(100)}{n} \text{ (expresado como porcentaje)}$$

▼ **FIGURA 14.2*c)***
Medidas del error

Measure	Value
Error Measures	
CFE (Cumulative Forecast Error)	-31
MAD (Mean Absolute Deviation)	8.1
MSE (Mean Squared Error)	87.9
Standard Deviation of Errors	29.648
MAPE (Mean Absolute Percent	17.062%

Por ejemplo, un error de pronóstico absoluto de 100 resultados es un porcentaje mayor cuando la demanda es de 200 unidades que cuando es de 10,000 unidades. El EPAM es la mejor medida del error para usarse cuando se hacen comparaciones entre las series de tiempo de los SKU. Véase de nuevo la figura 14.2*b)*, el porcentaje de error en el periodo 2 es 16.22% y EPAM, el promedio global de los 10 periodos, es 17.06 por ciento.

Por último, la figura 14.2*c)* resume los términos de error en los 10 periodos. De hecho, se encuentran en las porciones seleccionadas de la figura 14.2*b)* en el renglón de TOTALES. DAM es 8.1, que se encuentra en la columna de |Error| y el renglón de PROMEDIO (*AVERAGE*); finalmente, el porcentaje de error es 17.06%, que está en la columna de |% error| (|*Pct Error*|) y el renglón de PROMEDIO.

EJEMPLO 14.1 Cálculo de las medidas del error de pronóstico

La siguiente tabla muestra las ventas reales de sillas tapizadas de un fabricante de muebles y los pronósticos para cada uno de los ocho meses. Calcule SAE, EMC, σ, DAM y EPAM para este producto.

Mes, t	Demanda, D_t	Pronóstico, F_t	Error, E_t	Error al cuadrado, E_t^2	Error absoluto, $\|E_t\|$	Error porcentual absoluto, $(\|E_t\|/D_t)(100)$
1	200	225	–25	625	25	12.5%
2	240	220	20	400	20	8.3
3	300	285	15	225	15	5.0
4	270	290	–20	400	20	7.4
5	230	250	–20	400	20	8.7
6	260	240	20	400	20	7.7
7	210	250	–40	1,600	40	19.0
8	275	240	35	1,225	35	12.7
		Total	–15	5,275	195	81.3%

SOLUCIÓN
Utilice las fórmulas de medidas para obtener:
Error acumulado de pronóstico (sesgo):

SAE = –15 (sesgo o suma de errores para todos los periodos en la serie de tiempo)

Promedio del error de pronóstico (sesgo medio):

$$\bar{E} = \frac{\text{SAE}}{n} = \frac{-15}{8} = -1.875$$

Error cuadrático medio:

$$\text{EMC} = \frac{\sum E_t^2}{n} = \frac{5{,}275}{8} = 659.4$$

Desviación estándar de los errores:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum [E_t - (-1.875)]^2}{7}} = 27.4$$

Desviación absoluta media:

$$\text{DAM} = \frac{\sum |E_t|}{n} = \frac{195}{8} = 24.4$$

Error porcentual absoluto medio:

$$\text{EPAM} = \frac{[\sum |E_t|/D_t]100}{n} = \frac{81.3\%}{8} = 10.2\%$$

Una SAE de –15 indica que el pronóstico tiene un pequeño sesgo hacia sobreestimar la demanda. Los estadísticos EMC, σ y DAM proporcionan medidas de la variabilidad del error de pronóstico. Una DAM de 24.4 significa que el promedio del error de pronóstico es 24.4 unidades en valor absoluto. El valor de σ, 27.4, indica que la distribución de la muestra de los errores de pronóstico tiene una desviación estándar de 27.4 unidades. Un EPAM de 10.2% implica que, en promedio, el error del pronóstico es alrededor de 10% respecto de la demanda real. Estas medidas se vuelven más confiables cuando el número de periodos de datos aumenta.

PUNTO DE DECISIÓN
Aunque razonablemente satisfecho con estos resultados de desempeño del pronóstico, el analista decide probar unos cuantos métodos de pronósticos más antes de llegar a un método de pronósticos final para utilizarlo en el futuro.

Apoyo de computadora

Los apoyos de computadora, como OM Explorer o POM para Windows, facilitan los cálculos de errores para evaluar qué tan bien se ajustan los modelos de pronósticos a los datos históricos. Los errores se miden con todos los datos, con frecuencia llamados *archivos históricos* en la práctica. Muestran las diferentes medidas de error para todo el archivo histórico para cada método de pronósticos evaluado. También obtienen pronósticos para el futuro basados en el método seleccionado.

Métodos de juicio

Los pronósticos de método cuantitativos son posibles solo cuando existen datos históricos adecuados (es decir, un *archivo histórico*). Sin embargo, el archivo histórico quizá no exista cuando se introduce un nuevo producto o cuando se espera que la tecnología cambie. El archivo histórico puede existir, pero ser menos útil cuando ciertos eventos (como lanzamientos o empaques especiales) se reflejan en los datos pasados o cuando se espera que algunos eventos ocurran en el futuro. En algunos casos, los métodos de juicio o subjetivos son solo una manera práctica de pronosticar. En otros casos, los métodos de juicio también se utilizan para modificar los pronósticos generados por métodos cuantitativos. Pueden reconocer que uno o dos de los modelos cuantitativos han tenido un desempeño particularmente bueno en los periodos recientes. Sin duda se pedirán ajustes si el pronosticador tiene conocimientos contextuales importantes. El *conocimiento contextual* es el conocimiento que los practicantes obtienen a través de la experiencia, como relaciones causa-efecto, indicadores del entorno e información organizacional que suelen afectar las variables que se pronostican. Los ajustes también pueden tomar en cuenta circunstancias inusuales, como una nueva promoción de ventas o eventos internacionales inesperados. También se han utilizado para eliminar el efecto de eventos especiales de una vez en el archivo histórico antes de aplicar los métodos cuantitativos. Los cuatro métodos de juicio más exitosos son: **1.** estimaciones de la fuerza de ventas, **2.** opinión de ejecutivos, **3.** investigación de mercado y **4.** método Delphi.

estimaciones de la fuerza de ventas
Pronósticos compilados de estimaciones de la demanda futura que hacen los miembros de la fuerza de ventas de la compañía.

Las **estimaciones de la fuerza de ventas** son pronósticos compilados de estimaciones periódicas que hacen los miembros de la fuerza de ventas de la compañía. La fuerza de ventas es el grupo que tal vez conoce más qué servicios y productos comprarán los clientes en el futuro cercano y en qué cantidades. Los pronósticos individuales de las personas de ventas se pueden combinar fácilmente para obtener estimaciones de ventas nacionales y regionales. Sin embargo, los sesgos individuales de las personas podrían alterar el pronóstico. Por ejemplo, algunas personas son optimistas por naturaleza, mientras que otras son más cautelosas. Los ajustes en los pronósticos pueden requerir que se tomen en cuenta estos sesgos individuales.

opinión ejecutiva
Método de pronósticos en el que se resumen las opiniones, experiencia y conocimiento técnico de uno o más administradores para llegar a un solo pronóstico.

pronósticos tecnológicos
Aplicación de la opinión ejecutiva para mantenerse al día en los últimos avances.

La **opinión ejecutiva** es un método de pronósticos en el que se resumen las opiniones, experiencia y conocimiento técnico de uno o más administradores o clientes para llegar a un solo pronóstico. Todos los factores que entran en los pronósticos de juicio caerán en la categoría de opinión ejecutiva. La opinión ejecutiva también se utiliza para los **pronósticos tecnológicos**. La velocidad de los cambios tecnológicos dificulta mantenerse al día en los últimos avances.

investigación de mercado
Enfoque sistemático para determinar el interés del consumidor externo en un servicio o producto creando y probando una hipótesis mediante la recolección de datos de encuestas.

La **investigación de mercado** es un enfoque sistemático para determinar el interés del consumidor externo en un servicio o producto creando y probando una hipótesis mediante la recolección de datos de encuestas. Realizar un estudio de mercado incluye diseñar un cuestionario, decidir cómo administrarlo, seleccionar una muestra representativa y analizar la información utilizando el juicio y las herramientas estadísticas para interpretar las respuestas. Aunque las investigaciones de mercado proporcionan información importante, suelen incluir numerosos aspectos cualitativos y de cobertura en sus hallazgos.

método Delphi
Proceso para obtener el consenso de un grupo de expertos mientras se mantiene el anonimato.

El **método Delphi** es un proceso para obtener el consenso de un grupo de expertos mientras se mantiene el anonimato. Esta forma de pronóstico es útil cuando no hay datos históricos para desarrollar modelos estadísticos y cuando los administradores de la empresa no tienen experiencia en la cual basar sus proyecciones informadas. Un coordinador envía preguntas a cada miembro del grupo de expertos externos, que tal vez ni siquiera sepan quién más participa. El coordinador prepara un resumen estadístico de las respuestas y un resumen de los argumentos que las respaldan. El informe se envía al mismo grupo para otra ronda y los participantes pueden elegir modificar sus respuestas anteriores. Estas rondas continúan hasta que se logra el consenso.

En el resto de este capítulo centramos la atención a los enfoques de pronósticos cuantitativos que más se utilizan.

Métodos causales: regresión lineal

regresión lineal
Método causal en el que una variable (la variable dependiente) se relaciona con una o más variables independientes mediante una ecuación lineal.

variable dependiente
La variable que se desea pronosticar.

Los métodos causales se usan cuando se dispone de datos históricos y se logra identificar la relación entre el factor que se va a pronosticar y otros factores externos e internos (como acciones del gobierno o promociones publicitarias). Estas relaciones se expresan en términos matemáticos y pueden ser complejas. Los métodos causales son buenos para predecir puntos de cambio en la demanda y para preparar pronósticos a largo plazo. Nos enfocamos en regresión lineal, uno de los métodos causales más conocidos y utilizados.

En la **regresión lineal**, una variable, llamada variable dependiente, se relaciona con una o más variables independientes mediante una ecuación lineal. La **variable dependiente** (como la demanda de bisagras para puertas) es la que el administrador desea pronosticar. Se supone que las **variables independientes** (como gastos de publicidad y el inicio de nuevas viviendas) afectan a la variable dependiente y por ello son la "causa" de los resultados observados en el pasado. La figura 14.3 muestra la relación de la línea de regresión con los datos. En términos técnicos, la regresión lineal minimiza el cuadrado de las desviaciones de los datos actuales.

variables independientes
Variables que se supone que afectan la variable dependiente y por ello son la "causa" de los resultados observados en el pasado.

En los modelos de regresión lineal simple, la variable dependiente es una función de una sola variable dependiente y, por lo tanto, la relación teórica es una línea recta:

$$Y = a + bX$$

donde:

Y = variable dependiente
X = variable independiente
a = Y-ordenada al origen
b = pendiente de la recta

El objetivo del análisis de regresión lineal es encontrar valores de a y b que minimizan la suma de los cuadrados de las desviaciones de los datos reales respecto a la línea graficada. Para esto se utilizan programas de computadora. Para cualquier conjunto de observaciones por pares de Y y X, el programa calcula valores de a y b y proporciona medidas de la exactitud del pronóstico. Las tres medidas que casi siempre se reportan son: **1.** el coeficiente de correlación de la muestra, **2.** el coeficiente de determinación de la muestra y **3.** el error estándar de la estimación.

El *coeficiente de correlación de la muestra*, r, mide la dirección y fuerza de la relación entre la variable independiente y la variable dependiente. El valor de r estará entre –1.00 y +1.00. Un coeficiente de correlación de +1.00 implica que los cambios periodo por periodo (incrementos o decrementos) de dirección de la variable independiente siempre van acompañados por cambios en la misma dirección de la variable dependiente. Un valor de r de –1.00 significa que las disminuciones en la variable independiente siempre van acompañadas de aumentos en la variable dependiente y viceversa. Un valor de cero para r indica que no existe una relación lineal entre las variables. Cuanto más cercano a ±1.00, mejor se ajusta la recta de regresión a los datos.

El *coeficiente de determinación* mide la cantidad de variación en la variable dependiente alrededor de su media que explica la recta de regresión. El coeficiente de determinación es el cuadrado del coeficiente de correlación, es decir, r^2. El valor de r^2 va de 0.00 a 1.00. Las ecuaciones de regresión con un valor de r^2 cercano a 1.00 tienen un mejor ajuste.

El *error estándar de la estimación*, s_{xy}, mide la cercanía con que los datos de la variable dependiente se agrupan alrededor de la recta de regresión. Aunque es similar a la desviación estándar de la muestra, mide el error de la variable dependiente, Y, respecto a la recta de regresión, en lugar de respecto a la media. Entonces, es la desviación estándar de la diferencia entre la demanda real y la estimación proporcionada por la ecuación de regresión.

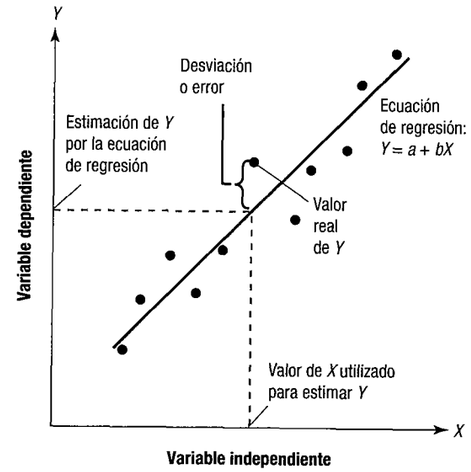


FIGURA 14.3 ▲
Línea de regresión lineal respecto a la demanda real

EJEMPLO 14.2 Utilización de la recta de regresión para pronosticar la demanda del producto

El administrador de la cadena de suministro busca una mejor manera de pronosticar la demanda de las bisagras para puerta y cree que esa demanda se relaciona con los gastos en publicidad. Las siguientes son las ventas y los datos de publicidad para los últimos cinco meses:

Mes	Ventas (miles de unidades)	Publicidad (miles de $)
1	264	2.5
2	116	1.3
3	165	1.4
4	101	1.0
5	209	2.0

La compañía gastará $1,750 en publicidad del producto el próximo mes. Utilice la recta de regresión para desarrollar una ecuación y un pronóstico para este producto.

MyOMLab
El modelo activo 14.1 en MyOMLab proporciona más información acerca de variar la ordenada y la pendiente del modelo.

SOLUCIÓN

Utilizamos POM para Windows para determinar los mejores valores de a, b, el coeficiente de correlación, el coeficiente de determinación y el error estándar de la estimación.

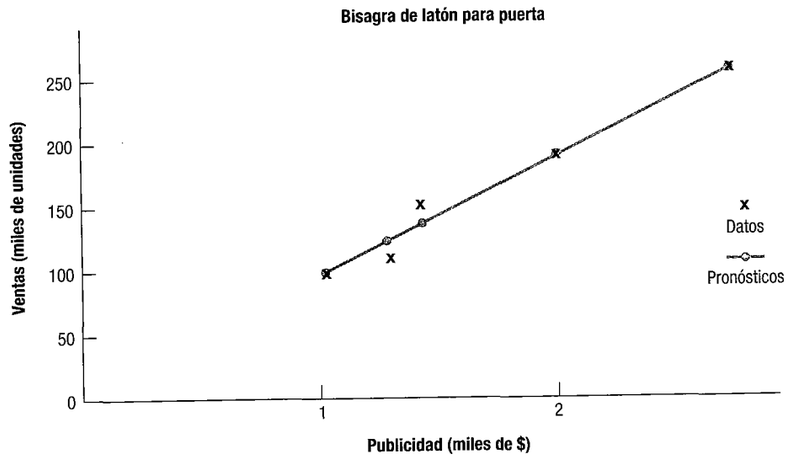
$$a = -8.135$$
$$b = 109.229X$$
$$r = 0.980$$
$$r^2 = 0.960$$
$$s_{yx} = 15.603$$

La ecuación de regresión es:

$$Y = -8.135 + 109.229X$$

y la recta de regresión se muestra en la figura 14.4. El coeficiente de correlación de la muestra, r, es 0.98, que es inusualmente cercano a 1.00 y sugiere que existe una fuerte relación positiva entre las ventas y los gastos en publicidad. El coeficiente de determinación de la muestra, r^2, implica que 96% de la variación en las ventas se explica por los gastos en publicidad.

FIGURA 14.4 ▶
Recta de regresión lineal para los datos de ventas y publicidad obtenidos con POM para Windows



PUNTO DE DECISIÓN

El administrador de la cadena de suministro decidió usar el modelo de regresión como entrada para planear los niveles de producción para el mes seis. Como los gastos de publicidad serán de $1,750, el pronóstico para el mes seis es $Y = -8.135 + 109.229(1.75) = 183.016$, es decir, 183,016 unidades.

Con frecuencia, cierto número de variables independientes pueden afectar a la variable dependiente. Por ejemplo, los gastos en publicidad, inicio de nuevas compañías y contratos para construir edificios residenciales suelen ser importantes para la estimación de la demanda de bisagras para puertas. En estos casos, será útil el *análisis de regresión múltiple* para determinar una ecuación para pronosticar la variable dependiente como función de diversas variables independientes. Estos modelos se pueden analizar con POM para Windows o con OM Explorer y ser muy útiles tanto para predecir puntos de cambio como para resolver muchos problemas de planeación.

Métodos de series de tiempo

En lugar de usar variables independientes para el pronóstico, como hacen los modelos de regresión, los métodos de series de tiempo utilizan información histórica de solo la variable dependiente. Estos métodos se basan en la suposición de que los patrones pasados de la variable dependiente continuarán en el futuro. El análisis de series de tiempo identifica los patrones subyacentes de la demanda que se combinan para producir un patrón histórico observado de la variable dependiente y luego desarrolla un modelo para replicarlo. Esta sección está dedicada a los métodos de series de tiempo que abordan los patrones de demanda horizontal, de tendencia y estacional. Antes de estudiar los métodos estadísticos, veremos el método de series de tiempo más sencillo para abordar todos los patrones de demanda, el pronóstico ingenuo.

Pronóstico ingenuo

pronóstico ingenuo
Método de series de tiempo que pronostica el siguiente periodo igual a la demanda del periodo actual, o sea, pronóstico = D_t

Un método utilizado a menudo en la práctica es el **método ingenuo**, mediante el cual el pronóstico para el siguiente periodo (F_{t+1}) es igual a la demanda de periodo actual (D_t). Entonces, si la demanda real para el miércoles es 35 clientes, la demanda para el jueves es 35 clientes. A pesar de su nombre, el pronóstico ingenuo puede tener un buen desempeño.

El método del pronóstico ingenuo se adapta para tomar en cuenta una tendencia de demanda. El incremento (o decremento) observado en la demanda entre los dos últimos periodos se usa para ajustar la demanda actual para llegar al pronóstico. Suponga que la semana pasada la demanda era 120 unidades y la semana anterior fue 108 unidades. La demanda aumentó 12 unidades en una semana, de manera que el pronóstico para la siguiente sería 120 + 12 = 132 unidades. El método de pronóstico ingenuo también sirve para tomar en cuenta los patrones estacionales. Si la demanda de julio pasado fue 50,000 unidades y se supone que no hay una tendencia subyacente de un año al siguiente, el pronóstico para este julio sería 50,000 unidades. El método funciona mejor cuando los patrones horizontal, de tendencia o estacional son estables y la variación aleatoria es pequeña.

Estimación del promedio

Comenzamos nuestra discusión de métodos estadísticos de pronósticos de series de tiempo con una demanda que no tiene un patrón de tendencia, estacional o cíclica aparente. El patrón horizontal en una serie de tiempo se basa en la media de las demandas, de manera que nos centramos en los métodos de pronóstico que estiman el promedio de los datos en una serie de tiempo. El pronóstico de la demanda para *cualquier* periodo en el futuro es el promedio de la serie de tiempo calculado en el periodo actual. Por ejemplo, si el promedio de los datos pasados calculado el martes es 65 clientes, los pronósticos para miércoles, jueves y viernes son 65 clientes cada día.

Considere la figura 14.5, que muestra las llegadas de pacientes a una clínica durante las 28 semanas anteriores. Suponiendo que la serie de tiempo tiene solo un patrón horizontal y aleatorio, uno de los enfoques es simplemente calcular el promedio de los datos. Sin embargo, este enfoque no tiene una cualidad de adaptación si existe un patrón de tendencia, estacional o cíclico. Las técnicas estadísticas que sí tienen la cualidad adaptativa al estimar el promedio en una serie de tiempo son: **1.** promedio móvil simple, **2.** promedio móvil ponderado y **3.** suavizamiento exponencial. Otra opción es el promedio simple, pero no tiene la capacidad de adaptarse.

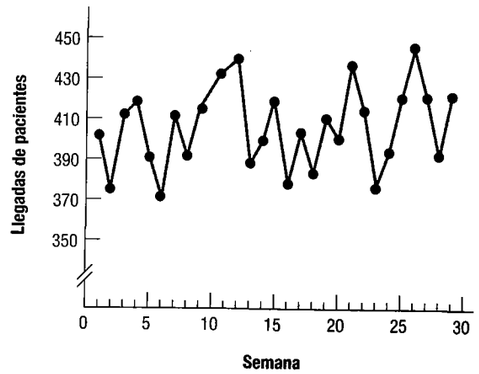


FIGURA 14.5 ▲
Llegadas semanales de pacientes a una clínica

Promedio móvil simple El **método de promedio móvil simple** sencillamente implica calcular la demanda promedio para los n periodos más recientes y utilizándolo como previsiones para periodos futuros. Para el siguiente periodo, después de que se conoce la demanda, la demanda más antigua del promedio anterior es sustituido con la demanda más reciente y el promedio se recalcula. De esta manera se usan las n demandas más recientes y el promedio se "mueve" de un periodo a otro.

método de promedio móvil simple
Método de series de tiempo utilizado para estimar el promedio de una serie de tiempo de demanda promediando las demandas para los n periodos más recientes.

En particular, el pronóstico para el periodo $t + 1$ se calcula al final del periodo t (después de conocer la demanda real del periodo t) como:

$$F_{t+1} = \frac{\text{suma de las } n \text{ últimas demandas}}{n} = \frac{D_t + D_{t-1} + D_{t-2} + \cdots + D_{t-n+1}}{n}$$

donde:

D_t = demanda real en el periodo t
n = número total de periodos en el promedio
F_{t+1} = pronóstico para el periodo $t + 1$

EJEMPLO 14.3 **Método de promedio móvil para estimar la demanda promedio**

a) Calcule el pronóstico de promedio móvil de *tres semanas* para la llegada de pacientes a la clínica en la semana cuatro. El número de llegadas para las tres semanas anteriores es como sigue:

Semana	Llegada de pacientes
1	400
2	380
3	411

b) Si el número real de llegada de pacientes en la semana cuatro es 415, ¿cuál es el error del pronóstico para la semana cuatro?

c) ¿Cuál es el pronóstico para la semana cinco?

MyOMLab
El modelo activo 14.2 en MyOMLab proporciona información sobre el impacto de variar n utilizando el ejemplo de la figura 14.5.

MyOMLab
El tutor 14.1 en MyOMLab proporciona otro ejemplo para practicar la obtención de pronósticos con el método depromedio móvil.

SOLUCIÓN

a) El pronóstico de promedio móvil al final de la semana tres es:

$$F_4 = \frac{411 + 380 + 400}{3} = 397.0$$

b) El error de pronóstico para la semana cuatro es:

$$E_4 = D_4 - F_4 = 415 - 397 = 18$$

c) El pronóstico para la semana cinco requiere la llegada real en las semanas 2 a 4, las tres semanas más recientes de los datos.

$$F_5 = \frac{415 + 411 + 380}{3} = 402.0$$

PUNTO DE DECISIÓN

El pronóstico al final de la semana tres habría sido 397 pacientes para la semana cuatro, que queda corto respecto a la demanda real por 18 pacientes. El pronóstico para la semana cinco, calculado al final de la semana cuatro, sería 402 pacientes. Si se necesita un pronóstico para la semana 6 y más, también sería 402 pacientes.

El método de promedio móvil puede incluir el uso de muchos periodos de demanda anterior según se desee. Deben utilizarse valores grandes de n para series de demanda estables y valores pequeños de n para aquellas susceptibles a cambios en el promedio subyacente. Si n se establece en su nivel más bajo ($n = 1$), el método se vuelve ingenuo.

método de promedio móvil ponderado
Método de series de tiempo en el que cada demanda histórica en el promedio puede tener su propio peso, la suma de los pesos debe sumar 1.0.

Promedios móviles ponderados En el método de promedio móvil simple, cada demanda tiene el mismo peso en el promedio, a saber, $1/n$. En el **método de promedio móvil ponderado**, cada demanda histórica en el promedio puede tener su propio peso. La suma de los pesos debe ser igual a 1.0. Por ejemplo, en un modelo de promedio móvil ponderado de *tres periodos*, al periodo más reciente se le asignaría un peso de 0.50, al segundo más reciente un peso de 0.30 y al tercero más reciente un peso de 0.20. El promedio se obtiene multiplicando el peso de cada periodo por el valor de ese periodo y sumando los productos:

$$F_{t+1} = 0.50D_t + 0.30D_{t-1} + 0.20D_{t-2}$$

El problema resuelto 2 y el tutor 14.2 de OM Explorer en MyOMLab son ejemplos numéricos que ilustran el método de promedio móvil ponderado para estimar la demanda promedio.

La ventaja de un método de promedio móvil ponderado es que permite dar más importancia a la demanda reciente y no a la más lejana. (Incluso pueden manejar el efecto estacional colocando pesos más altos en los años anteriores en la misma temporada). El pronóstico tendrá una respuesta más rápida a los cambios y los promedios subyacentes de la serie de demandas que el pronóstico de promedio móvil simple.

método de suavizamiento exponencial
Promedio móvil ponderado que calcula el promedio de una serie de tiempo asignando implícitamente más peso a las demandas recientes que las anteriores.

Art Directors & TRIP/Alamy

Unilever, el proveedor de Te Lipton, Dove, Hellman's y cientos de otras marcas, debe pronosticar la demanda alrededor del mundo. Tiene un sistema de pronósticos moderno y actualizado. Utiliza software de Manugistics, el sistema mezcla pronósticos de técnicas de series de tiempo con ajustes de subjetivos por las promociones planeadas por sus equipos de ventas. Unilever compara los datos de puntos de venta con sus propios pronósticos. Los pronósticos se revisan y se ajustan según los juicios conforme se necesite.

Suavizamiento exponencial El **método de suavizamiento exponencial** es un método sofisticado de promedio móvil ponderado que calcula el promedio de una serie de tiempo que, de manera implícita, da más peso a las demandas recientes que a las anteriores, tomando en cuenta todo el archivo histórico. Es el que se usa con más frecuencia para pronósticos formales por su sencillez y la pequeña cantidad de datos que lo apoyan. A diferencia del método de promedio móvil ponderado, que requiere n periodos de demandas pasadas y n ponderaciones, el de suavizamiento exponencial solo requiere tres tipos de datos: **1.** el pronóstico del último periodo, **2.** la demanda real para este periodo y **3.** un parámetro de suavizamiento, alfa (α), que tiene un valor entre 0 y 1.0. La ecuación par el pronóstico de suavizamiento exponencial para el periodo $t + 1$ es:

$$F_{t+1} = \alpha D_t + (1 - \alpha)F_t$$

La importancia dada al nivel de demanda más reciente se puede ajustar cambiando el parámetro de suavizamiento. Valores más grandes de α resaltan los niveles de demanda recientes y el resultado es un pronóstico con respuesta más rápida a los cambios en el promedio subyacente. Los valores más pequeños de α tratan el pasado de manera más uniforme y se obtienen pronósticos más estables. Asignar valores pequeños de α es análogo a aumentar el valor de n en el método de promedio móvil y dar mayor peso a la demanda anterior. En la práctica, se prueban varios valores de α y se elige el que produce los mejores pronósticos.

El suavizamiento exponencial requiere un pronóstico inicial para comenzar. Existen varias maneras de obtener este pronóstico inicial. OM Explorer y POM para Windows tienen establecido usar la demanda real del primer periodo, que se convierte en pronóstico para el segundo. Luego se calculan los pronósticos y los errores de pronóstico comenzando con el periodo dos. Si se dispone de algunos datos históricos, el pronóstico inicial se encontraría calculando el promedio de varios periodos recientes de demanda. El efecto de la estimación inicial del promedio sobre las estimaciones sucesivas disminuye con el tiempo.

EJEMPLO 14.4 **Aplicación de suavizamiento exponencial para estimar la demanda promedio**

a) Reconsidere los datos de llegada de pacientes del ejemplo 14.3. Ahora es el final de la semana tres, de manera que se sabe que el número real de llegadas es 411 pacientes. Con $\alpha = 0.10$, calcule el pronóstico de suavizamiento exponencial para la semana cuatro.

b) ¿Cuál es el error de pronóstico para la semana cuatro si la demanda real resultó ser 415?

c) ¿Cuál es el pronóstico para la semana cinco?

MyOMLab
El modelo activo 14.3 en MyOMLab proporciona más información sobre el impacto de variar α en la figura 14.5.

MyOMLab
El tutor 14.3 en MyOMLab proporciona un nuevo ejemplo de práctica para obtener pronósticos con el método de suavizamiento exponencial.

SOLUCIÓN

a) El método de suavizamiento exponencial requiere un pronóstico inicial. Suponga que tomamos los datos de demanda para las primeras dos semanas y los promediamos, obteniendo (400 + 380)/2 = 390 como pronóstico inicial. (POM para Windows y OM Explorer sencillamente usan la demanda real para esta semana como valor establecido para el pronóstico inicial para el periodo uno y no comienzan calculando errores de pronóstico hasta el segundo periodo). Para obtener el pronóstico para la semana cuatro, utilizamos suavizamiento exponencial con $D_3 = 411$, $\alpha = 0.10$ y $F_3 = 390$, calculamos el pronóstico para la semana cuatro como:

$$F_4 = 0.10(411) + 0.90(390) = 392.1$$

Entonces el pronóstico para la semana cuatro sería 392 pacientes.

b) El error de pronóstico para la semana cuatro es:

$$E_4 = 415 - 392 = 23$$

c) El nuevo pronóstico para la semana cinco sería:

$$F_5 = 0.10(415) + 0.90(392.1) = 394.4$$

es decir, 394 pacientes. Observe que utilizamos F_4, no el valor entero del pronóstico para la semana cuatro, al calcular F_5. En general, redondeamos (cuando es apropiado) solo el resultado final para mantener la mayor precisión posible en los cálculos.

PUNTO DE DECISIÓN

Al utilizar este modelo de suavizamiento exponencial, los pronósticos del analista habrían sido 392 pacientes para la semana cuatro y 394 pacientes para la semana cinco y más. En cuanto se conoce la demanda real para la semana cinco, el pronóstico para la semana seis se actualiza.

Debido a la sencillez del método de suavizamiento exponencial y los pocos datos que necesita, es poco costoso y atractivo para las empresas calcular miles de pronósticos para cada periodo. Sin embargo, su sencillez también es una desventaja cuando el promedio subyacente tiene cambios, como en el caso de la serie de demanda con tendencia. Al igual que cualquier método limitado solo por la suposición de un promedio estable, los resultados de suavizamiento exponencial muestran un retardo con respecto a los cambios en el promedio. Los valores más altos de α pueden ayudar a reducir los errores de pronóstico cuando hay un cambio en el promedio de la demanda; sin embargo, de todas formas ocurre el retardo si el promedio cambia de manera sistemática. En general, si se requieren valores grandes de α (como valores > 0.50) para la aplicación de suavizamiento exponencial, es muy posible que se requiera otro modelo debido a una tendencia significativa o a una influencia estacional en la serie de demanda.

Proyección de tendencia con regresión

Ahora consideramos una serie de tiempo de demanda que tiene una tendencia. Una *tendencia* en una serie de tiempo es un incremento o decremento sistemático en el promedio de la serie en el tiempo. Cuando hay una tendencia notoria, los pronósticos de los enfoques ingenuos, promedio móvil y suavizamiento exponencial son adaptables, pero muestran un retardo con respecto a la demanda real y tienden a ser más bajos o más altos que la demanda real.

La proyección de tendencia con regresión es un modelo de pronósticos que toma en cuenta la tendencia con el análisis de regresión simple. Para desarrollar un modelo de regresión para pronosticar la tendencia, sea la variable dependiente, Y, la demanda de un periodo y sea la variable independiente, t, el periodo. Para el primer periodo se tiene $t = 1$; para el segundo periodo, $t = 2$; etc. La ecuación de regresión es:

$$F_t = a + bt$$

Una ventaja de la proyección de tendencia con el modelo de regresión es que pronostica la demanda en el futuro. Los modelos anteriores proyectan la demanda un periodo adelante y suponen que en adelante la demanda permanecerá en el mismo nivel. Por supuesto, todos los modelos (incluso la proyección de tendencia con el modelo de regresión) se pueden actualizar cada periodo para estar al corriente. Una desventaja *aparente* de la tendencia con regresión es que no se adapta. La solución a este problema llega cuando se responde la siguiente pregunta. Si cuenta con las ventas históricas de automóviles Ford desde 1920, ¿incluiría cada año en su análisis de regresión, dando el mismo peso a la venta de cada año, o incluiría solo las ventas de los años más recientes? Lo más probable es que decida incluir solo los años más recientes, haciendo el modelo de regresión más adaptable. La proyección de tendencia con el modelo de regresión entonces sería más o menos adaptable con la selección de los periodos de datos históricos que se incluyan, de la misma manera que modelos de los promedios móviles (cambiando n) o de suavizamiento exponencial (cambiando α).

La proyección de tendencia con el modelo de regresión se puede resolver, ya sea con el Solver de *Proyección de tendencia con regresión (Trend Projection with Regression)* o con el Solver de *Pronósticos de series de tiempo* (*Time Series Forecasting*) de OM Explorer. Ambos proporcionan coeficientes de regresión, el coeficiente de determinación r^2, medidas de error y pronósticos futuros. POM para Windows tiene un modelo alternativo (no se cubre en este libro, aunque MyOMLab contiene una descripción) que incluye la tendencia, llamado *Modelo de suavizamiento con ajuste de tendencia* (*Trend-Adjusted Smoothing*).

MyOMLab

El Solver de *Proyección de tendencia con regresión* se centra exclusivamente en el análisis de tendencia. Su gráfica da un panorama general de qué tan bien se ajusta el modelo a la demanda real. Sus reguladores permiten controlar cuándo comienza la regresión, cuántos periodos se incluyen en el análisis y cuántos periodos futuros se desea pronosticar. El Solver de *Pronósticos de series de tiempo*, por otro lado, cubre todos los modelos de series de tiempo, incluyendo la proyección de tendencia con regresión. También calcula un pronóstico combinado, que se cubre en una sección subsecuente sobre el uso de técnicas múltiples.

EJEMPLO 14.5

Proyección de tendencia con regresión para pronosticar una serie de demandas con una tendencia

MyOMLab

El modelo activo 14.4 en MyOMLab proporciona información del comportamiento del modelo de proyección de tendencia con regresión con los datos para Medanalysis.

Medanalysis, Inc. proporciona servicios de laboratorio para pacientes de Health Providers, un grupo de 10 médicos que atienden a familias con un nuevo programa de mantenimiento de la salud. Los administradores están interesados en pronosticar el número de análisis de sangre que se piden por semana. Una publicidad reciente acerca de los efectos dañinos del colesterol en el corazón ha ocasionado un incremento nacional en las peticiones de análisis de sangre. Las llegadas de las últimas 16 semanas están dadas en la tabla 14.1. ¿Cuál es la demanda pronosticada para los siguientes tres periodos?

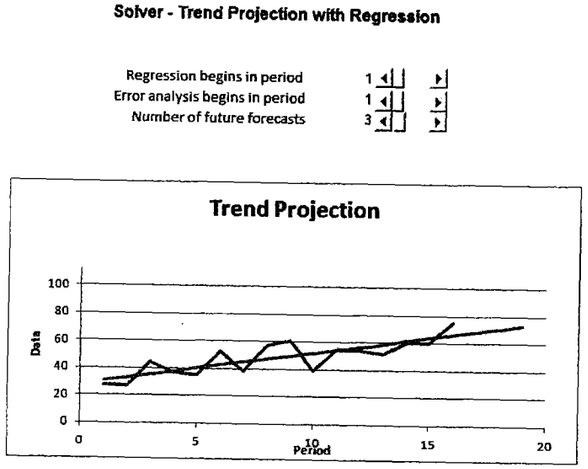
TABLA 14.1 | LLEGADAS A MEDANALYSIS EN LAS ÚLTIMAS 16 SEMANAS

Semana	Llegadas	Semana	Llegadas
1	28	9	61
2	27	10	39
3	44	11	55
4	37	12	54
5	35	13	52
6	53	14	60
7	38	15	60
8	57	16	75

SOLUCIÓN

La figura 14.6*a*) muestra los resultados del Solver de proyección de tendencia con regresión cuando se incluyeron las 16 semanas en el análisis de regresión, con la figura 14.6*b*) que muestra la hoja de trabajo que va con él.

▼ **FIGURA 14.6*a)***
Primer modelo



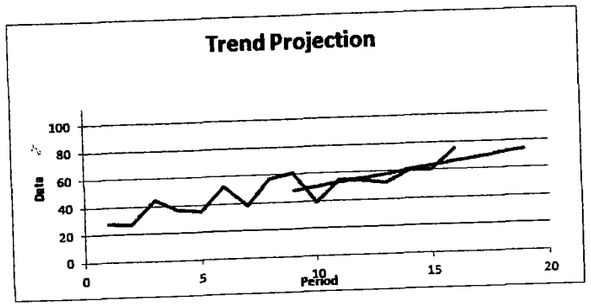
▼ **FIGURA 14.6*b)***
Cálculos detallados de errores de pronóstico del primer modelo

				CFE	Averages MSE	MAD	MAPE
				0.000	52.958	6.210	13.53%
Period #	Actual Demand	Forecast	Error	Running CFE	Error Squared	Absolute Error	Abs % error
1	28	31	-2.846	-2.846	8.097	2.846	10.16%
2	27	33	-6.191	-9.037	38.331	6.191	22.93%
3	44	36	8.463	-0.574	71.626	8.463	19.23%
4	37	38	-0.882	-1.456	0.779	0.882	2.38%
5	35	40	-5.228	-6.684	27.331	5.228	14.94%
6	53	43	10.426	3.743	108.711	10.426	19.67%
7	38	45	-6.919	-3.176	47.874	6.919	18.21%
8	57	47	9.735	6.559	94.776	9.735	17.08%
9	61	50	11.390	17.949	129.725	11.390	18.67%
10	39	52	-12.956	4.993	167.855	12.956	33.22%
11	55	54	0.699	5.691	0.488	0.699	1.27%
12	54	57	-2.647	3.044	7.007	2.647	4.90%
13	52	59	-6.993	-3.949	48.897	6.993	13.45%
14	60	61	-1.338	-5.287	1.791	1.338	2.23%
15	60	64	-3.684	-8.971	13.571	3.684	6.14%
16	75	66	8.971	0.000	80.471	8.971	11.96%

▼ **FIGURA 14.6*c)***
Segundo modelo

Solver - Trend Projection with Regression

Regression begins in period	9
Error analysis begins in period	9
Number of future forecasts	3



a (Y intercept)	24.86
b (slope or trend)	2.57
r2	0.39
CFE	0.00
MAD	5.96
MSE	55.29
MAPE	11.10%
Forecast for period 17	68.57143
Forecast for period 18	71.14286
Forecast for period 19	73.71429

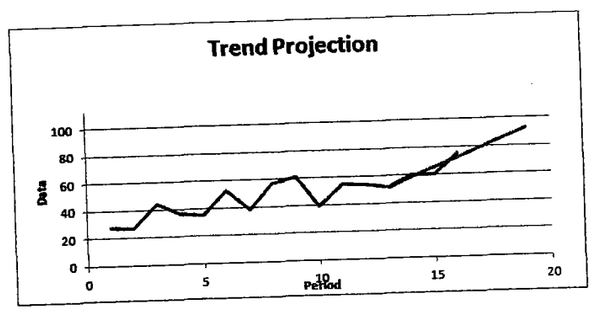
En la hoja de resultados de la figura 14.6*a*) vemos que la ordenada Y de la línea de tendencia *a*) es 28.50 y la pendiente de la línea *b*) es 2.35. Así, la ecuación de tendencia es $F_t = a + bt$, donde t es el periodo que se pronostica. El pronóstico para el periodo 19 es 28.5 + 2.35 (19) = 73. Los términos de error son SAE = 0 (que es de esperarse cuando la regresión comienza al mismo tiempo que el análisis de error), DAM = 6.21, EMC = 52.96 y EPAM = 13.53%. El coeficiente de determinación r^2 desciende a 0.69. La línea de tendencia se eleva lentamente y llega a 73 en el periodo 19. En cada periodo el pronóstico predice un incremento de 2.35 llegadas por semana.

Cuando el número de periodos incluidos en el análisis de regresión se reduce a 9, la figura 14.6c) muestra que este segundo modelo produce resultados mixtos. La línea de tendencia tiene una pendiente mayor. DAM y EPAM son mejores, pero r^2 y EMC son peores. El tercer modelo en la figura 14.6*d*) es el extremo, donde solo se usan los últimos cuatro periodos para establecer el modelo de regresión. Tiene mejor r^2, y todas las medidas de error son mucho mejores que en los primeros dos modelos. Su pronóstico para el periodo 19 es de 93 llegadas. Sin embargo, este modelo se basa solo en las últimas cuatro semanas de datos, ignorando todos los datos históricos. Por esto, la administración decide dividir la diferencia con un pronóstico de 83 llegadas. Está a la mitad entre los pronósticos más conservadores de 73 en la figura 14.6*a*) y la figura 14.6c) y el pronóstico optimista de 93 en la figura 14.6*d*).

Solver - Trend Projection with Regression

Regression begins in period	13
Error analysis begins in period	13
Number of future forecasts	3

FIGURA 14.6*d)* ▶
Tercer modelo



a (Y intercept)	-38.30
b (slope or trend)	6.90
r2	0.86
CFE	0.00
MAD	2.60
MSE	9.67
MAPE	4.13%
Forecast for period 17	79
Forecast for period 18	85.9
Forecast for period 19	92.8

Patrones estacionales

Los patrones estacionales son movimientos arriba y abajo que se repiten con regularidad en la demanda medida para periodos menores a un año (horas, días, semanas, meses, trimestres). En este contexto, los periodos se llaman *estaciones*. Por ejemplo, la llegada de clientes a un restaurante de comida rápida en cualquier día puede tener un pico entre las 11:00 a.m. y la 1:00 p.m. y de nuevo entre las 5:00 y las 7:00 p.m. (horario de comidas en Estados Unidos).

Una manera sencilla de tomar en cuenta los efectos estacionales es utilizar una de las técnicas descritas, pero limitar los datos en la serie de tiempo a periodos en la misma estación. Por ejemplo, para un efecto estacional de un día de la semana, usaríamos una serie de tiempo para los lunes, una para los martes, etc. Este enfoque toma en cuenta los efectos estacionales, pero tiene la desventaja de descartar mucha información de la demanda pasada.

Se dispone de otros métodos que analizan todos los datos pasados con un modelo para pronosticar la demanda para todas las estaciones. Describimos solo el **método estacional multiplicativo**, en el que una estimación de la demanda promedio se multiplica por los factores estacionales para llegar a un pronóstico estacional. El procedimiento de cuatro pasos que se presenta involucra utilizar promedios simples de la demanda pasada, aunque se pueden usar enfoques más elaborados para calcular los promedios, como un promedio móvil o suavizamiento exponencial. La siguiente descripción se basa en un patrón estacional que dura un año con estaciones de un mes, aunque el procedimiento se utiliza para cualquier patrón estacional de cualquier duración.

método estacional multiplicativo
Método en el cual los patrones estacionales se multiplican por una estimación de la demanda promedio para llegar a un pronóstico estacional.

1. Para cada año, calcule la demanda promedio por estación dividiendo la demanda anual entre el número de estaciones.
2. Para cada año, divida la demanda real para una estación entre la demanda promedio por estación. El resultado es un *índice estacional* para cada estación del año, que indica el nivel de demanda relativo a la demanda promedio. Por ejemplo, un índice estacional de 1.14 calculado para abril implica que la demanda de abril es 14% más grande que la demanda por mes.
3. Calcule el índice promedio estacional para cada estación, con los resultados del paso 2. Sume los índices estacionales para una estación y divida entre el número de años de datos.
4. Calcule el pronóstico de cada estación para el siguiente año. Comience por pronosticar la demanda anual del próximo año con el método ingenuo, promedios móviles, suavizamiento exponencial o proyección de tendencia con regresión. Luego divida la demanda anual entre el número de estaciones por año para obtener la demanda promedio por estación. Por último, obtenga un pronóstico estacional multiplicando la demanda promedio por estación por el índice estacional apropiado encontrado en el paso 3.

EJEMPLO 14.6 Método estacional multiplicativo para pronosticar el número de clientes

El administrador de la compañía de limpieza de alfombras Stanley Steemer necesita un pronóstico del número esperado de clientes el próximo año. El negocio de limpieza de alfombras es estacional, con un pico en el tercer trimestre y un valle en el primero. El administrador desea pronosticar la demanda de los clientes para cada trimestre del año cinco, con base en una estimación total de la demanda del año cinco en 2,600 clientes.

SOLUCIÓN

La siguiente tabla calcula el factor estacional para cada trimestre.

Muestra los datos de la demanda trimestral de los cuatro años anteriores, al igual que los cálculos realizados para obtener el factor estacional promedio de cada trimestre.

	AÑO 1		AÑO 2		AÑO 3		AÑO 4		
Trimestre	**Demanda**	**Factor estacional (1)**	**Demanda**	**Factor estacional (2)**	**Demanda**	**Factor estacional (3)**	**Demanda**	**Factor estacional (4)**	**Factor estacional promedio [(1+2+3+4)/4]**
1	45	45/250 = 0.18	70	70/300 = 0.23333	100	100/450 = 0.22222	100	100/550 = 0.18182	0.2043
2	335	335/250 = 1.34	370	370/300 = 1.23333	585	585/450 = 1.30	725	725/550 = 1.31818	1.2979
3	520	520/250 = 2.08	590	590/300 = 1.96667	830	830/450 = 1.84444	1160	1160/550 = 2.10909	2.0001
4	100	100/250 = 0.40	170	170/300 = 0.56667	285	285/450 = 0.63333	215	215/550 = 0.39091	0.4977
Total	1,000		1,200		1,800		2,200		
Promedio	1,000/4 = 250		1,200/4 = 300		1,800 = 450		2,200/4 = 550		

Por ejemplo, el factor estacional en el trimestre 1 del año 1 se calcula dividiendo la demanda real (45) entre la demanda promedio de todo el año (1,000/4 = 250). Cuando se hace eso para los cuatro años, podemos promediar los factores estacionales para el trimestre 1 sobre los 4 años. El resultado es un factor estacional de 0.2043 para el trimestre 1.

Una vez calculados los factores estacionales para las cuatro estaciones (véase la última columna de la tabla en la página anterior), obtenemos los pronósticos para el año 5. El administrador sugiere un pronóstico de 2,600 clientes para todo el año, que parece razonable dado que la demanda anual ha ido aumentando un promedio de 400 clientes por año (de 1,000 en el 1 a 2,200 en el año 4, es decir 1,200/3 = 400). La demanda pronosticada se encuentra extendiendo esa tendencia y proyectando la demanda anual en el año 5, de 2,200 + 400 = 2,600 clientes. (El mismo resultado se confirma al usar el Solver de *Proyección de tendencia con regresión* de OM Explorer). Los pronósticos trimestrales son directos. Primero, encuentre el pronóstico de la demanda promedio para el año 5, que es 2,600/4 = 650. Luego multiplique esta demanda promedio por el índice estacional promedio, esto da:

Trimestre	Pronóstico
1	$650 \times 0.2043 = 132.795$
2	$650 \times 1.2979 = 843.635$
3	$650 \times 2.0001 = 1{,}300.065$
4	$650 \times 0.4977 = 323.505$

La figura 14.7 muestra la solución de computadora del Solver de *Pronóstico estacional* de OM Explorer. La figura 14.7*b*) confirma todos los cálculos hechos. Observe en la figura 14.7*a*) que la computadora proporciona un pronóstico de demanda para el año 5. Sin embargo, existe una opción para el pronóstico de demanda proporcionado por el usuario que anula el de la computadora si el administrador desea dar un pronóstico de juicio con base en información adicional.

FIGURA 14.7 ▶
Pronósticos de demanda con el Solver de *Pronóstico estacional* de OM Explorer

Period: Quarters

Starting Year: 1 Years: 4

Computed Forecast Demand for Year 5: 2600

User-supplied Forecast Demand for Year 5: 2600

(a) Inputs sheet

Quarter	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4
1	45	70	100	100
2	335	370	585	725
3	520	590	830	1160
4	100	170	285	215

Quarter	Seasonal Index	Forecast
1	0.2043	132.795
2	1.2979	843.635
3	2.0001	1300.065
4	0.4977	323.505

(b) Results

PUNTO DE DECISIÓN
Al usar este método estacional, el analista obtiene un pronóstico de demanda tan bajo como 133 clientes en el primer trimestre y tan alto como 1,300 clientes en el tercero. La estación del año marca claramente la diferencia.

Una alternativa para el método estacional multiplicativo es el **método estacional aditivo**, en el que los pronósticos estacionales se generan sumando o restando una constante estacional (digamos, 50 unidades) a la estimación de la demanda promedio por estación. Este enfoque se basa en la suposición de que el patrón estacional es constante, independientemente de la demanda promedio. La amplitud del ajuste estacional es el mismo sin importar el nivel de demanda.

método estacional aditivo
Método en el que los pronósticos estacionales se generan sumando una constante a la estimación de la demanda promedio por estación.

Selección de un método de pronósticos cuantitativo

Criterios para seleccionar métodos de series de tiempo

El error de pronóstico proporciona información importante para elegir el mejor método de pronósticos para un servicio o producto. También guía a los administradores para seleccionar los mejores valores para los parámetros necesarios para el método: n para el método de promedios móviles, los pesos para el método de promedios móviles, α para el método de suavizamiento exponencial y en qué momento comienzan los datos de regresión para el método de proyección de tendencia con regresión. Los criterios usados para seleccionar el método de pronósticos y los parámetros incluyen: **1.** minimizar el sesgo (SAE), **2.** minimizar EPAM, DAM y EMC, **3.** maximizar r^2, **4.** tomar en cuenta las expectativas de cambios en las componentes de la demanda y **5.** minimizar los errores de pronóstico en los periodos recientes. Los primeros tres criterios se relacionan con las medidas estadísticas basadas en el desempeño histórico; el cuarto refleja las expectativas sobre el futuro que pueden no tener sus raíces en el pasado y el quinto es una manera de utilizar el método que parezca funcionar mejor en el tiempo en que se obtiene el pronóstico.

Utilización de los criterios estadísticos Las medidas de desempeño se pueden usar en la selección del método de pronósticos a usar. Las siguientes guías ayudarán cuando se busca el mejor modelo de series de tiempo:

1. Para las proyecciones de patrones de demanda más estables, utilizar valores pequeños de α o valores grandes de n para resaltar la experiencia histórica.
2. Para proyecciones de patrones de demanda más dinámicos al utilizar los modelos cubiertos en este capítulo, intentar valores más grandes de α o valores más pequeños de n. Cuando los patrones de demanda histórica están cambiando, la historia reciente debe resaltarse.

Con frecuencia, el pronosticador debe hacer un balance entre el sesgo (SAE) y las medidas de dispersión del error de pronóstico (EPAM, DAM y EMC). Los administradores también deben reconocer que la mejor técnica para explicar los datos históricos no necesariamente es la mejor para predecir el futuro y que "ajustar de más" los datos pasados podría ser engañoso. Ese fue el caso en el ejemplo 14.5. Todas las medidas de error de pronóstico sugerían que el modelo de regresión en la figura 14.5*d*) era el mejor, pero la administración dudaba porque usaba muy poco de la serie de tiempo. Un método de pronóstico puede tener pequeños errores respecto al archivo histórico, pero generar incluso grandes errores para periodos futuros. Por esta razón, algunos analistas prefieren tener una **muestra de reserva** como prueba final (véase los dos ejercicios de aprendizaje experimental al final de este capítulo). Para hacerlo, quitan algunos de los periodos más recientes de la serie de tiempo y utilizan solo los periodos anteriores para desarrollar y probar diferentes modelos. Una vez que seleccionan los modelos finales en la primera etapa, se prueban de nuevo con la muestra de reserva. Las medidas de desempeño, como DAM y SAE, todavía se utilizan pero se aplican a la muestra de reserva. Se use esta idea o no, los administradores deben vigilar los errores de pronóstico y modificar sus enfoques de pronósticos si es necesario. Conservar datos del desempeño del pronóstico es la última prueba del poder del pronóstico, en lugar de qué tan bien se ajusta un modelo a los datos pasados o a las muestras retenidas.

muestra de reserva
Demandas reales de los periodos más recientes en la serie de tiempo que se guardan para probar los diferentes modelos desarrollados con los periodos anteriores.

Señales de rastreo

Una **señal de rastreo** es una medida que indica si un método de pronósticos predice con exactitud los cambios reales en la demanda. La señal de rastreo mide el número de las DAM representadas por la suma acumulada de los errores de pronóstico, SAE. La SAE tiende a estar cerca de 0 cuando se usa el sistema de pronósticos correcto. Sin embargo, en cualquier momento los errores aleatorios pueden ocasionar que SAE sea un número diferente de cero. La fórmula de señales de rastreo es

$$\text{Señal de rastreo} = \frac{\text{SAE}}{\text{DAM}} \quad \text{o} \quad \frac{\text{SAE}}{\text{DAM}_t}$$

Cada periodo, la SAE y la DAM se actualizan para reflejar el error actual y la señal de rastreo se compara con ciertos límites predeterminados. La DAM se calcula de dos maneras: **1.** como promedio simple de todos los errores absolutos (como se muestra en el ejemplo 14.1), o **2.** como promedio ponderado determinado por el método de suavizamiento exponencial:

$$\text{DAM}_t = \alpha|E_t| + (1 - \alpha)\,\text{DAM}_{t-1}$$

señal de rastreo
Medida que indica si el método de pronósticos predice con exactitud los cambio reales en la demanda.

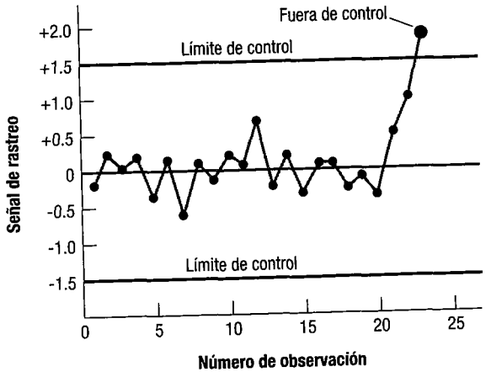


FIGURA 14.8 ▲
Señal de rastreo

Si los errores de pronóstico tienen distribución normal con una media de 0, la relación entre σ y DAM es sencilla:

$$\sigma = (\sqrt{\pi/2})\,(\text{DAM}) \cong 1.25\,(\text{DAM})$$

$$\text{DAM} = 0.7978\sigma \cong 0.8\sigma$$

donde:

$$\pi = 3.1416$$

Esta relación permite el uso de las tablas de probabilidad normal para especificar los límites para la señal de rastreo. Si la señal de rastreo cae fuera de estos límites, el modelo de pronósticos ya no está rastreando o detectando la demanda de manera adecuada. Un sistema de rastreo es útil cuando los sistemas de pronósticos están computarizados porque advierte a los analistas cuando los pronósticos se salen de los límites deseables. La figura 14.8 muestra los resultados de la señal de rastreo para 23 periodos registrados en una *gráfica de control*. La gráfica de control es útil para determinar si se necesita una acción para mejorar el modelo de pronósticos. En el ejemplo, los primeros 20 puntos se agrupan alrededor de 0, como se esperaría si los pronósticos no están sesgados. La SAE tenderá a 0. Cuando las características subyacentes de la demanda cambian, pero el modelo de pronósticos no, con el tiempo la señal de rastreo sale de control. El incremento estable después del punto número 20 en la figura 14.8 indica que el proceso se está saliendo de control. Los puntos 21 y 22 son aceptables, pero el punto 23 no.

Uso de múltiples técnicas

Hemos descrito varios métodos de pronósticos individuales y mostrado cómo evaluar el desempeño del pronóstico. Sin embargo, no es necesario confiar en un solo método de pronósticos. Pueden utilizarse varios pronósticos distintos para llegar a un pronóstico final. Los pronósticos iniciales, usando varios métodos de series de tiempo y regresión, se distribuyen entre individuos conocedores, como directores de marketing y equipos de ventas (y algunas veces incluso proveedores y clientes) para que los ajusten. Ellos tomarían en cuenta el mercado actual y las condiciones de los clientes que no necesariamente se reflejan en datos pasados. Los pronósticos múltiples pueden venir de diferentes equipos de ventas y algunos equipos tal vez tengan un mejor registro de errores de pronóstico que otros.

pronóstico combinado
Pronósticos que se producen al promediar pronósticos independientes basados en métodos, fuentes o datos diferentes.

La investigación durante las dos últimas décadas sugiere que combinar pronósticos de varias fuentes con frecuencia produce pronósticos más precisos. El **pronóstico combinado** es un pronóstico producido al promediar pronósticos independientes basados en métodos, fuentes o datos diferentes. Es intrigante que la combinación de pronósticos con frecuencia tenga mejor desempeño en el tiempo que incluso el mejor procedimiento de pronósticos por sí solo. Por ejemplo, suponga que el pronóstico para el siguiente periodo con la técnica uno es 100 unidades y con la técnica dos es 120 unidades y que la técnica uno haya proporcionado pronósticos más exactos a la fecha. El pronóstico combinado para el siguiente periodo, dando el mismo peso a cada técnica, es 110 unidades ($0.5 \times 100 + 0.5 \times 120$). Cuando este promedio se usa de manera continua en el futuro, los pronósticos combinados suelen ser mucho más exactos que los obtenidos con cualquiera de las mejores técnicas de pronósticos (en este ejemplo, la técnica uno). Combinar es más efectivo cuando los pronósticos individuales incluyen diferentes tipos de información en el proceso de pronósticos. Los pronosticadores han logrado excelentes resultados dando ponderaciones por igual a los pronósticos y este es un buen punto de partida. No obstante, los pesos desiguales pueden proporcionar mejores resultados en algunas condiciones.

OM Explorer y POM para Windows le permiten evaluar varios modelos de pronósticos y luego crear un pronóstico combinado con ellos. De hecho, el Solver de *Pronósticos de series de tiempo* de OM Explorer calcula en forma automática un pronóstico combinado como promedio ponderado, con los pesos que el usuario ingrese para los diferentes modelos que evalúa. Los modelos incluyen los métodos ingenuo, promedios móviles, suavizamiento exponencial y proyección con regresión. De otra manera, se puede crear una hoja de Excel sencilla que combine los pronósticos generados por POM para Windows para crear un pronóstico combinado. El Solver de *Pronósticos de series de tiempo* también permite evaluar el proceso de pronósticos con una muestra de reserva. El pronosticador calcula un periodo futuro y conoce la demanda real dada. Después el Solver calcula pronósticos y errores de pronóstico para el periodo. El proceso continúa al siguiente periodo con la muestra de reserva y con el pronosticador comprometiéndose con un pronóstico para el siguiente periodo. Para estar informado, el pronosticador también debe saber qué tan bien se desempeñan los otros métodos, en particular en el pasado reciente.

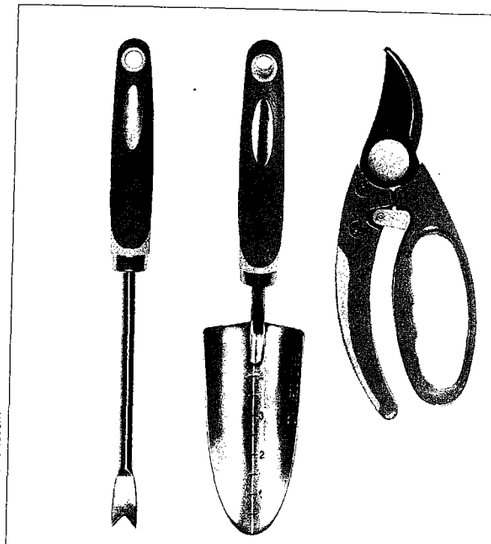
PRÁCTICA ADMINISTRATIVA 14.1 Pronósticos combinados y el proceso de pronosticar

Fiskars Brands, Inc. renovó por completo su proceso de pronósticos. Da servicio a 2,000 clientes que van de grandes tiendas de descuento para las tiendas locales de artes, proporcionando 2,300 SKU terminados. Su compañía matriz, Fiskars Corporation, es la segunda entidad incorporada más antigua en el mundo y produce una variedad de productos de alta calidad como tijeras de jardín, podadores y herramientas manuales, tijeras infantiles, trinquetes, desarmadores y cosas parecidas. El negocio es altamente funcional y los precios bastante variables. Cerca de 10 a 15% del ingreso anual viene de promociones de una sola vez y tiene de 25 a 30% de productos nuevos cada año.

Introdujo un análisis basado en la estadística junto con una herramienta inteligente de negocios basada en Internet para hacer reportes. Dio más importancia a los pronósticos combinados. En lugar de pedir a los miembros del personal de ventas que proporcionaran sus pronósticos, se les enviaban y se les pedía que los validaran y afinaran. Sus datos eran muy útiles en cuanto a adiciones, eliminaciones y promociones. Convertir múltiples pronósticos en un número (pronósticos de series de tiempo, datos de ventas y datos proporcionados por clientes) crea pronósticos más precisos por SKU. El software de Fiskars tiene la habilidad de ponderar cada dato. Da más peso a los pronósticos estadísticos para los artículos en línea, y los datos proporcionados por el personal de ventas obtienen mayor peso para los productos promocionados y los artículos nuevos.

También desglosa los SKU por valor y facilidad de pronosticar, de manera que los esfuerzos para obtener pronósticos se centran en los SKU que tienen el mayor impacto en el negocio. Los artículos de alto valor (artículos "A", según el análisis ABC en el capítulo 9, "Administración del inventario de la cadena de suministro"), que también tienen altas posibilidades de pronosticarse (demanda estable con errores de pronóstico bajos hasta la fecha), tienden a funcionar bien con las técnicas de series de tiempo y los **ajustes por juicio** se hacen con precaución. Los artículos de alto valor con bajas posibilidades de pronosticar obtienen la prioridad más alta en el esfuerzo de pronósticos, igual que con CPFR. Se dedica mucha menos atención a mejorar los pronósticos de los artículos "C" para los que existe una historia y una demanda bastante estable.

Por último, Fiskars instituyó un programa con base en Internet que da a la compañía visibilidad completa de la información de pronósticos en cualquier forma que la necesite. Por ejemplo, finanzas quería proyecciones mensuales, trimestrales y anuales en dólares, mientras que operaciones quiere proyecciones en unidades al igual que medidas precisas. Todos pueden dar seguimiento a la información de pronósticos actualizada por cliente, marca y SKU.


HANDOUT/MCT/Newscom

Fiskars Brands, Inc. renovó por completo sus procesos de pronósticos. Sus productos incluyen tijeras de jardín e infantiles, podadores, herramientas manuales, trinquetes, desarmadores y cosas parecidas. Introdujo una herramienta de series de tiempo que resalta los pronósticos combinados. En lugar de pedir al personal de ventas que proporcione sus propios pronósticos, estos pronósticos se les envían y se les pide que los validen y afinen. Sus datos de juicio o subjetivos proporcionan información valiosa respecto a adiciones, eliminaciones y promociones. Convertir múltiples pronósticos (de varias técnicas de series de tiempo y datos de juicio) en un número crea pronósticos más precisos por SKU.

Fuente: David Montgomery, "Flashpoints for Changing Your Forecasting Process", *The Journal of Business Forecasting* (invierno, 2006-2007), pp. 35-37; **http://www.fiskars.com**, 21 de mayo, 2011.

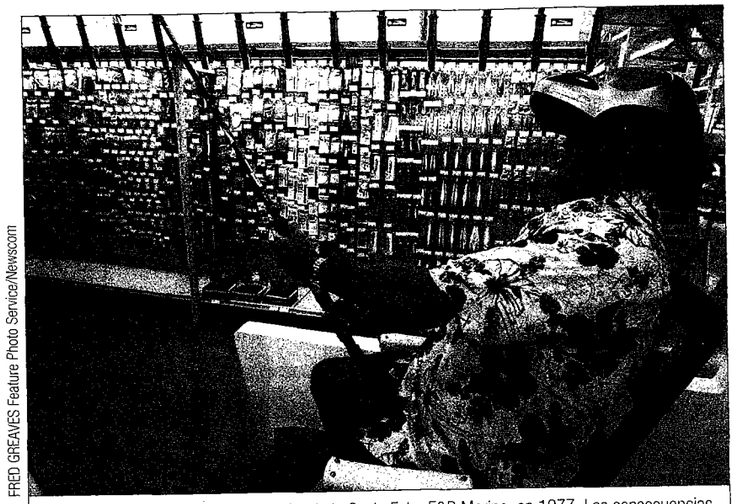
Otra manera de aprovechar múltiples técnicas es el **pronóstico de enfoque**, que selecciona el mejor pronóstico (con base en medidas de error pasadas) de un grupo de pronósticos generados por técnicas individuales. En cada periodo se usan todas las técnicas para obtener pronósticos para cada artículo. Los pronósticos se obtienen con una computadora porque quizás haya 100,000 SKU en una compañía, cada una con necesidad de un pronóstico. Con la historia como punto de partida para cada método, la computadora genera pronósticos para el periodo actual. Estos pronósticos se comparan con la demanda real y el método que produce el pronóstico con el menor error se usa para obtener el pronóstico para el siguiente periodo. El método que se utiliza para cada artículo puede cambiar de un periodo a otro.

ajustes por juicio
Ajuste hecho a los pronósticos de uno o más modelos cuantitativos que explica el reconocimiento de qué modelos se desempeñan particularmente bien en el pasado reciente o toman en cuenta la información contextual.

pronóstico de enfoque
Método de pronósticos que selecciona el mejor pronóstico de un grupo de pronósticos generado por técnicas individuales.

Para poner todo junto: pronósticos como un proceso

Con frecuencia, las compañías deben preparar pronósticos para cientos o incluso miles de servicios o productos repetidas veces. Por ejemplo, una red grande de instalaciones para el cuidado de la salud debe calcular el pronóstico de demanda para cada uno de sus servicios por cada departamento. Esta tarea incluye datos voluminosos que deben manipularse a menudo. Para facilitar la carga existen sistemas de software, como Motorola Mobility, que pueden calcular estos pronósticos y coordinar los pronósticos entre clientes y proveedores. Se dispone de muchos paquetes



FRED GREAVES Feature Photo Service/Newscom

West Marine adquirió a su competidor de la Costa Este, E&B Marine, en 1977. Las consecuencias se hicieron evidentes muy pronto. Los niveles de faltantes en la temporada pico se elevaron más de 12% respecto del año anterior. Después de seis años de crecimiento estable, el ingreso neto bajó de $15 millones en 1977 a no más de $1 millón el siguiente año. Revisemos esos seis años. Ningún problema de suministros se presentó en ninguna tienda o almacén. ¿Qué cambió? Cuatro palabras: la cadena de suministro. Los administradores reconocieron que necesitaban hacer cambios significativos al administrar su cadena de suministro. Un elemento crucial era una mayor colaboración con sus proveedores. No es suficiente coordinar la cadena dentro de las fronteras de una sola organización.

de software que incluyen Manugistics, Forecast Pro y SAS. Las rutinas de pronósticos en OM Explorer y POM para Windows dan cierta idea de sus capacidades. Los pronósticos no son solo un conjunto de técnicas, más bien constituyen un proceso que debe ser diseñado y administrado. Mientras que no existe un proceso que funcione para todos, describimos dos procesos exhaustivos que suelen ser bastante efectivos para administrar las operaciones y la cadena de suministro.

Un proceso de pronósticos típico

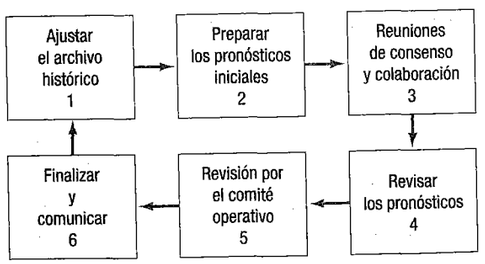
Muchas *entradas* al proceso de pronósticos son informativas, comenzando con el *archivo histórico* de la demanda del pasado. El archivo histórico se mantiene actualizado con las demandas reales. Se colocan notas de aclaración y se hacen ajustes a la base de datos para explicar comportamientos inusuales de la demanda, como el impacto de promociones especiales y cierres. Con frecuencia, la base de datos se separa en dos partes: datos *base* y datos *no base*. La segunda categoría refleja demandas irregulares. Los pronósticos finales que se obtienen al final del ciclo anterior se ingresan en el archivo histórico para rastrear errores de pronóstico. Otras fuentes de información vienen de las estimaciones de la fuerza de ventas, ofertas pendientes de nuevas órdenes, órdenes registradas, estudios de mercado, comportamiento del competidor, perspectiva económica, introducción de nuevos productos, precios establecidos y promociones. Si se utiliza CPFR, como hace Motorola Mobility en la viñeta de apertura del capítulo, entonces se comparte mucha información con clientes y proveedores. Para los productos nuevos, se elabora una base de datos con la experiencia de la empresa con productos anteriores y el juicio personal.

Las *salidas* del proceso son los pronósticos para múltiples periodos en el futuro. Casi siempre son mensuales y se proyectan de seis meses a dos años. La mayoría de los paquetes de software tienen la habilidad de "resumir" o "agregar" los pronósticos para las unidades o SKU individuales como pronósticos para la familia completa de productos. Los pronósticos también se pueden "desglosar" o "desagregar" en partes más pequeñas. En un entorno de hacer para almacenar, los pronósticos tienden a obtenerse para grupos de productos. De manera similar, si los tiempos de entrega para comprar materias primas y fabricar productos o proporcionar servicios son largos, los pronósticos llegan más lejos en el futuro.

El proceso de pronósticos en sí, normalmente realizado cada mes, consiste en pasos estructurados. Estos pasos con frecuencia los realiza alguien que podemos llamar gerente de demanda, analista de pronósticos o quien planea la demanda y el suministro. Sin embargo, suele ocurrir que muchas otras personas se involucren antes de que se autoricen los planes para el mes.

Paso 1. El ciclo comienza a mediados del mes justo después de finalizar los pronósticos y comunicarlos a los accionistas. Es tiempo para actualizar el archivo histórico y revisar la exactitud del pronóstico. Al final de mes, se ingresa la demanda real y se revisa la exactitud del pronóstico.

Paso 2. Prepare los pronósticos iniciales utilizando algún paquete de software y el juicio. Ajuste los parámetros del software para encontrar modelos que se ajusten bien a la demanda pasada y reflejen el juicio del administrador de la demanda acerca de eventos irregulares y la información de ventas futuras obtenida de varias fuentes y unidades de negocios.



Paso 3. Realice reuniones de consenso con los interesados, como marketing, ventas, planificadores de la cadena de suministro y finanzas. Facilite la entrada de información del personal de las unidades de negocios y de ventas en campo. Utilice Internet para obtener información colaborativa de los clientes clave y proveedores. La meta es llegar a un consenso en el pronóstico desde todos los puntos importantes.

Paso 4. Revise los pronósticos con el juicio subjetivo, considerando la información de la reunión de consenso y de las fuentes de colaboración.

Paso 5. Presentar el pronóstico al comité de operaciones para revisarlo y lograr un conjunto final de pronósticos. Es importante tener un conjunto de pronósticos con el que todos estén de acuerdo y funcione como apoyo.

Paso 6. Finalice el pronóstico con base en las decisiones del comité de operaciones y comuníquelos a los interesados importantes. Los que planean la cadena de suministro suelen ser los mayores usuarios.

Igual que con toda actividad de trabajo, pronosticar es un proceso y debe revisarse continuamente para mejorarlo. Un mejor proceso fomentará mejores relaciones entre departamentos como marketing, ventas y operaciones. También producirá mejores pronósticos. Este principio es el primero de la tabla 14.2 para guiar las mejoras de procesos.

Agregar colaboración al sistema

Este proceso es similar al primero, excepto que agrega mucha colaboración con los clientes y proveedores de la compañía, en particular en el paso 3. La **planeación, pronósticos y reabastecimiento colaborativos (CPFR)** es un proceso de nueve pasos específicos para la integración de la cadena de suministro que permite a un proveedor y sus clientes colaborar para obtener el pronóstico por medio de Internet. Muchas otras empresas, incluyendo Motorola, según se describe en la entrada de este capítulo, están aplicando CPFR para coordinar arriba y abajo la cadena de suministro.

Pronósticos como proceso anidado

Pronosticar no es una actividad independiente, sino parte de un proceso más grande que abarca los capítulos restantes. Después de todo, la demanda es solo la mitad de la ecuación, la otra mitad es la oferta. Deben desarrollarse planes para proporcionar en el futuro los recursos necesarios para cumplir la demanda pronosticada. Los recursos incluyen fuerza de trabajo, materiales, inventarios, dólares y capacidad del equipo. Asegurar que la demanda y los planes de suministros están balanceados comienza en el capítulo 15, "Planeación y programación de las operaciones" y continúa en el capítulo 16, "Planeación de recursos".

Mark Peterson/CORBIS

Walmart se conoce desde hace mucho por su análisis cuidadoso de los recibos de las cajas registradoras y por trabajar con los proveedores para reducir sus inventarios. En el pasado, igual que muchas otras tiendas, Walmart no compartía sus pronósticos con sus proveedores. El resultado eran errores de pronóstico hasta de 60% respecto a la demanda real. Los minoristas ordenaban *más de lo necesario y los proveedores producían más de lo que podían vender. Para* combatir los efectos nocivos de los errores de pronóstico sobre los inventarios, Walmart, IBM, SAP y Manugistics fundaron Benchmrking Partners, Inc. a mediados de la década de 1990, con la finalidad de desarrollar un software específico. Walmart inició este nuevo enfoque con Listerine, un producto primario de Warner-Lambert (ahora producido y distribuido por Johnson & Johnson). El sistema funcionó de la siguiente manera durante este periodo piloto. Walmart y Warner-Lambert calculaban la demanda que esperaban de manera independiente para Listerine a seis meses en el futuro, tomando en cuenta factores como tendencias de ventas pasadas y planes de promoción. Intercambiaban sus pronósticos por Internet. Si diferían en más de un porcentaje predeterminado, el minorista y el fabricante usaban Internet para intercambiar comentarios por escrito y datos que los apoyaban. Las partes realizaban todos ciclos que fueran necesarios para converger en un pronóstico aceptable. Pasaron el periodo piloto con gran éxito. Los beneficios para Walmart incluyeron una reducción de 15 a 2% en desabasto, así como un *incremento en ventas y la reducción de los costos del inventario*, ambos significativos. De la misma manera ,Warner-Lambert se benefició al tener un plan de producción más parejo y menores costos promedio. Más tarde, el sistema se generalizó y recibió el nombre de "planeación, pronósticos y reabastecimiento colaborativos" o CPRF (*collaborative planning, forecasting and replenisment*).

TABLA 14.2 | ALGUNOS PRINCIPIOS PARA EL PROCESO DE PRONÓSTICOS

- Mejores procesos llevan a mejores pronósticos.
- Pronosticar la demanda se hace prácticamente en todas las compañías, de manera formal o informal. El reto es hacerlo bien: mejor que la competencia.
- Mejores pronósticos se traducen en mejor servicio al cliente y menores costos, al igual que mejores relaciones con los clientes y proveedores.
- *El pronóstico puede y debe tener sentido dentro del panorama general, la previsión económica, el porcentaje* de mercado, etcétera.
- La mejor manera de mejorar la exactitud del pronóstico es centrarse en reducir el error de pronóstico.
- El sesgo es el peor tipo de error de pronóstico, luche por que el sesgo sea cero.
- Siempre que sea posible pronostique a niveles más agregados. Los pronósticos detallados se obtienen solo cuando es necesario.
- Se obtendría mucho más con la colaboración de las personas y la buena comunicación, que utilizando la técnica de pronósticos o el modelo más avanzado.

Fuente: Basado en Thomas F. Wallace y Robert A. Stahl, *Sales Forecasting: A New Approach* (Cincinnati, OH: T.E. Wallace & Company, 2002), p. 112. Copyright © 2002 T.E. Wallace & Company. Utilizado con permiso.

planeación, pronósticos y reabastecimiento colaborativos (CPFR)

Proceso de nueve pasos para la integración de la cadena de suministro que permite que proveedores y sus clientes colaboren en la obtención de pronósticos usando Internet.

REPASO DE LAS METAS DE APRENDIZAJE

1. **Identificar los cinco métodos de pronóstico disponibles para los sistemas de pronósticos.** La sección "Selección del tipo de técnica de pronósticos", pp. 466-467, introduce de modo breve los cuatro grupos de técnicas de pronósticos. Cada uno se describe en detalle en secciones subsecuentes.
2. **Identificar las diferentes medidas de error de pronósticos.** Revise "Error de pronóstico", pp. 467-469 y "Selección de un método de pronósticos cuantitativo", pp. 481-482, para comprender SAE, EMC, σ, DAM, EPAM y las señales de rastreo.
3. **Utilizar regresión para pronosticar con una o más variables independientes.** La sección "Métodos causales: regresión lineal" y el ejemplo 14.2, pp. 471-472, describen la manera en que, cuando se dispone de datos históricos, la regresión lineal puede expresar la demanda como una función lineal de una o más variables independientes. El ejemplo 14.2, pp. 471-472, y el problema resuelto 1 ilustran la salida de computadora, incluyendo los diferentes estadísticos de qué tan bien se ajusta la ecuación de regresión a los datos.
4. **Obtener pronósticos con los enfoques más comunes para el análisis de series de tiempo.** La sección "Métodos de series de tiempo", pp. 472-481 explica el método ingenuo, el promedio móvil simple, el promedio móvil ponderado y el suavizamiento exponencial. Los ejemplo 14.3 y 14.4 muestran algunos métodos, al igual que los problemas resueltos 2 y 3.
5. **Obtener pronósticos utilizando la proyección de tendencia con regresión.** Cubrimos esta técnica en las pp. 476-478, con cuatro figuras que ilustran la salida de computadora y cómo variar el número de periodos en el análisis de regresión puede impactar los resultados.
6. **Describir un proceso de pronósticos típico aplicado en los negocios.** La sección "Un proceso de pronósticos típico", pp. 484-485, y los seis pasos involucrados. Existe mucha más complejidad cuando se toma en cuenta el número de sku que existen y la necesidad de actualizar el archivo histórico.
7. **Explicar la iniciativa de planeación, pronósticos y reabastecimiento colaborativos (CPFR).** La sección "Agregar colaboración al sistema", p. 485, es un gran paso para aumentar la coordinación arriba y abajo de la cadena de suministro. En la apertura del capítulo vemos lo que Motorola Mobility hizo con sus clientes para mejorar sus pronósticos de demanda.

MyOMLab le ayuda a desarrollar habilidades analíticas y a evaluar sus avances con múltiples problemas de promedio móvil, desviación absoluta media, error porcentual absoluto medio, error cuadrado medio (EMC), suavizamiento exponencial, DAM, EPAM, método estacional multiplicativo, modelo de regresión de mínimos cuadrados y proyección de tendencia con regresión.

Recursos de MyOMLab	Títulos	Vínculos con el libro
Video	*Forecasting and Supply Chain Management at Deckers Outdoor Corporation*	Utilización de técnicas múltiples; Para poner todo junto: pronósticos como un proceso
Ejercicios de modelo activo	14.1 Regresión lineal	Métodos causales: regresión lineal; ejemplo 14.2 (pp. 471-472); problema resuelto 1
	14.2 Remedios móviles simples	Estimación del promedio; ejemplo 14.3 (pp. 473-474); problema resuelto 2
	14.3 Suavizamiento exponencial	Suavizamiento exponencial; ejemplo 14.4 (p. 475); problema resuelto 3
Solvers de OM Explorer	Análisis de regresión	Métodos causales: regresión lineal; ejemplo 14.2 (pp. 471-472); problema resuelto 1
	Pronósticos estacionales	Patrones estacionales; Ejemplo 14.6 (pp. 479-480); Problema resuelto 4
	Pronósticos de series de tiempo	Métodos de series de tiempo; ejemplos 14.3 y 14.5
	Proyección de tendencia con regresión	Proyección de tendencia con regresión; ejemplo 14.5 (pp. 476-478)
Tutores de OM Explorer	14.1Método de promedios móviles	Estimando el promedio; ejemplo 14.3 (pp. 473-474); problema resuelto 2
	14.2 Método de promedios móviles ponderados	Promedio móvil ponderado y problema resuelto 2
	14.3 Suavizamiento exponencial	Suavizamiento exponencial; ejemplo 14.4 (p. 475); problema resuelto 3
Tours virtuales	Pan Ferrara	Decisiones clave al obtener pronósticos
	Cape Cod Chips	Patrones de demanda; Métodos de juicio
POM para Windows	Análisis de series de tiempo	Métodos de series de tiempo; ejemplo 14.3 y 14.5; Patrones estacionales; ejemplo 14.6 (pp. 479-480); problema resuelto 4
	Proyector de regresión	Métodos causales: regresión lineal; ejemplo 14.2 (pp. 471-472); problema resuelto 1
	Mínimos cuadrados —simples y múltiples	Métodos causales: regresión lineal; ejemplo 14.2 (pp. 471-472); problema resuelto 1
	Regresión	Método de juicio; Error de pronóstico, ejemplo 14.1 (p. 469).
	Análisis de error	Selección de un método de pronósticos cuantitativo; problema resuelto 3
Archivo de datos del estudiante	Ejercicio experimental dos	Métodos de series de tiempo; Elección de un método de series de tiempo; Utilización de técnicas múltiples
Tutor	Suavizamiento exponencial con ajuste de tendencia	Proyección de tendencia con regresión (pp. 476-478)
Ejercicio en Internet	Centro nacional de datos de clima (National Climate Data Center)	Métodos causales: regresión lineal; ejemplo 14.2 (pp. 471-472); Proyección de tendencia con regresión; ejemplo 14.5 (pp. 476-478)
Ecuaciones clave		
Biblioteca de imágenes		

Ecuaciones clave

1. Error de pronóstico:

$$E_t = D_t - F_t$$

$$\text{SAE} = \sum E_t$$

$$\bar{E} = \frac{\text{SAE}}{n}$$

$$\text{EMC} = \frac{\sum E_t^2}{n}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (E_t - \bar{E})^2}{n-1}}$$

$$\text{DAM} = \frac{\sum |E_t|}{n}$$

$$\text{EPAM} = \frac{(\sum |E_t|/D_t)(100\%)}{n}$$

2. Regresión lineal:

$$Y = a + bX$$

3. Pronóstico ingenuo:

$$\text{Pronóstico} = D_t$$

4. Promedio móvil simple:

$$F_{t+1} = \frac{D_t + D_{t-1} + D_{t-2} + \cdots + D_{t-n+1}}{n}$$

5. Promedio móvil ponderado:

$$F_{t+1} = \text{peso}_1(D_t) + \text{peso}_2(D_{t-1}) + \text{peso}_3(D_{t-2}) + \cdots + \text{peso}_n(D_{t-n+1})$$

6. Suavizamiento exponencial:

$$F_{t+1} = \alpha D_t + (1-\alpha)F_t$$

7. Proyección de tendencia con regresión

$$F_t = a + bt$$

8. Señal de rastreo:

$$\frac{\text{SAE}}{\text{DAM}} \quad \text{o} \quad \frac{\text{SAE}}{\text{DAM}_t}$$

9. Error de suavizamiento exponencial:

$$\text{DAM}_t = \alpha |E_t| + (1-\alpha)\text{DAM}_{t-1}$$

Términos clave

agregación 466
ajustes por juicio 483
análisis de series de tiempo 467
desviación absoluta media (DAM) 468
desviación estándar (σ) 468
error de pronóstico 467
error medio cuadrado (EMC) 468
error porcentual absoluto medio (EPAM) 468
estimaciones de la fuerza de ventas 470
investigación de mercado 470
método de promedio móvil ponderado 474
método de promedio móvil simple 473
método de suavizamiento exponencial 474
método Delphi 470
método estacional aditivo 481
método estacional multiplicativo 479
métodos causales 467
métodos de juicio 466
muestra de reserva 481
opinión ejecutiva 470
planeación, pronósticos y reabastecimiento colaborativos (CPFR) 485
pronóstico 464
pronóstico combinado 482
pronóstico ingenuo 473
pronósticos de enfoque 483
pronósticos tecnológicos 470
proyección de tendencia con regresión 467
regresión lineal 470
señal de rastreo 481
series de tiempo 465
suma acumulada de errores de pronóstico (SAE) 467
variable dependiente 470
variables independientes 471

Problema resuelto 1

Chicken Palace periódicamente ofrece cenas para llevar cinco piezas a precios especiales. Sea Y el número de cenas vendidas y X el precio, con base en las observaciones históricas y los cálculos de la siguiente tabla, determine la ecuación de regresión, el coeficiente de correlación y el coeficiente de determinación. ¿Cuántas cenas puede esperar vender Chicken Palace a $3.00 cada una?

Observación	Precio (X)	Cenas vendidas (Y)
1	$ 2.70	760
2	$ 3.50	510
3	$ 2.00	980
4	$ 4.20	250
5	$ 3.10	320
6	$ 4.05	480
Total	$19.55	3,300
Promedio	$ 3.258	550

SOLUCIÓN

Utilizamos la computadora (Solver de *Análisis de regresión* de OM Explorer o el módulo *proyector de regresión* de POM para Windows) para calcular los mejores valores de a, b, el coeficiente de correlación y el coeficiente de determinación.

$$a = 1{,}454.60$$
$$b = -277.63$$
$$r = -0.84$$
$$r^2 = 0.71$$

La recta de regresión es:

$$Y = a + bX = 1{,}454.60 - 277.63X$$

El coeficiente de correlación ($r = -0.84$) muestra una correlación negativa entre las variables. El coeficiente de determinación ($r^2 = 0.71$) no es demasiado grande, lo que sugiere que otras variables (además del precio) pueden tener efectos apreciables en las ventas.

Si la ecuación de regresión es satisfactoria para el administrador, las ventas estimadas a un precio de $3.00 por cena se calculan como sigue:

$$Y = a + bX = 1{,}454.60 - 277.63(3.00)$$
$$= 621.71 \text{ o } 622 \text{ cenas}$$

Problema resuelto 2

La Polish General's Pizza Parlor es un pequeño restaurante que cocina para clientes con gusto por la pizza europea. Una de sus especialidades es la pizza Polish Prize. El administrador debe pronosticar la demanda semanal para estas pizzas especiales para que pueda ordenar las bases cada semana. Recientemente, la demanda ha sido la siguiente:

Semana	Pizzas	Semana	Pizzas
Junio 2	50	Junio 23	56
Junio 9	65	Junio 30	55
Junio 16	52	Julio 7	60

a) Pronostique la demanda de pizzas del 23 de junio al 14 de julio usando el método de promedio móvil simple con $n = 3$. Lugo repita el pronóstico usando el promedio móvil ponderado con $n = 3$ y pesos de 0.50, 0.30 y 0.20, con 0.50 aplicado a la demanda más reciente.

b) Calcule la DAM para cada método.

SOLUCIÓN

a) Los métodos de promedio móvil simple y promedio móvil ponderado dan los siguientes resultados:

Semana actual	Promedio móvil simple, pronóstico para la próxima semana	Promedio móvil ponderado, pronóstico para la próxima semana
Junio 16	$\frac{52 + 65 + 50}{3} = 55.7$ o 56	$[(0.5 \times 52) + (0.3 \times 65) + (0.2 \times 50)] = 55.5$ o 56
Junio 23	$\frac{56 + 52 + 65}{3} = 55.7$ o 58	$[(0.5 \times 56) + (0.3 \times 52) + (0.2 \times 65)] = 56.6$ o 57
Junio 30	$\frac{55 + 56 + 52}{3} = 54.3$ o 54	$[(0.5 \times 55) + (0.3 \times 56) + (0.2 \times 52)] = 54.7$ o 55
Julio 7	$\frac{60 + 55 + 56}{3} = 57.0$ o 57	$[(0.5 \times 60) + (0.3 \times 55) + (0.2 \times 56)] = 57.7$ or 58

Los pronósticos en cada renglón son para la demanda de la siguiente semana. Por ejemplo, los pronósticos del promedio móvil simple y el promedio móvil ponderado (ambos de 56 unidades) calculados después de conocer la demanda del 16 de junio por aplicar al pronóstico de demanda del 23 de junio.

b) La desviación media absoluta se calcula como sigue:

		PROMEDIO MÓVIL SIMPLE		PROMEDIO MÓVIL PONDERADO	
Semana	Demanda real	Pronóstico de esta semana	Error absoluto $\lvert E_t \rvert$	Pronóstico de esta semana	Error absoluto $\lvert E_t \rvert$
Junio 23	56	56	$\lvert 56 - 56 \rvert = 0$	56	$\lvert 56 - 56 \rvert = 0$
Junio 30	55	58	$\lvert 55 - 58 \rvert = 3$	57	$\lvert 55 - 57 \rvert = 2$
Julio 7	60	54	$\lvert 60 - 54 \rvert = 6$	55	$\lvert 60 - 55 \rvert = 5$
			DAM $= \frac{0 + 3 + 6}{3} = 3.0$		DAM $= \frac{0 + 2 + 5}{3} = 2.3$

Para este conjunto limitado de datos, el promedio móvil ponderado da una desviación absoluta media ligeramente menor. Sin embargo, se puede llegar a conclusiones finales después de analizar más los datos.

Problema resuelto 3

La demanda mensual para las unidades fabricadas por Acme Rocket Company ha sido la siguiente:

Mes	Unidades	Mes	Unidades
Mayo	100	Septiembre	105
Junio	80	Octubre	110
Julio	110	Noviembre	125
Agosto	115	Diciembre	120

a) Utilice el método de suavizamiento exponencial para pronosticar el número de unidades de junio a enero. El pronóstico inicial para mayo fue 105 unidades; $\alpha = 0.2$.

b) Calcule el porcentaje absoluto de error para cada mes, de junio a diciembre, y la DAM y EPAM del error de pronóstico para el final de diciembre.

c) Calcule la señal de rastreo al final de diciembre. ¿Qué puede decir del desempeño de su método de pronóstico?

SOLUCIÓN

a)

Mes actual, t	Cálculo del pronóstico para el siguiente mes $F_{t+1} = \alpha D_t + (1-\alpha)F_t$	Pronóstico para el mes $t+1$
Mayo	0.2(100) + 0.8(105) = 104.0 o 104	Junio
Junio	0.2(80) + 0.8(104.0) = 99.2 o 99	Julio
Julio	0.2(110) + 0.8(99.2) = 101.4 o 101	Agosto
Agosto	0.2(115) + 0.8(101.4) = 104.1 o 104	Septiembre
Septiembre	0.2(105) + 0.8(104.1) = 104.3 o 104	Octubre
Octubre	0.2(110) + 0.8(104.3) = 105.4 o 105	Noviembre
Noviembre	0.2(125) + 0.8(105.4) = 109.3 o 109	Diciembre
Diciembre	0.2(120) + 0.8(109.3) = 111.4 o 111	Enero

b)

Mes, t	Demanda real, D_t	Pronóstico, F_t	Error, $E_t = D_t - F_t$	Error absoluto $\lvert E_t \rvert$	Porcentaje de error absoluto, $(\lvert E_t \rvert / D_t)(100\%)$
Junio	80	104	−24	24	30.0%
Julio	110	99	11	11	10.0
Agosto	115	101	14	14	12.0
Septiembre	105	104	1	1	1.0
Octubre	110	104	6	6	5.5
Noviembre	125	105	20	0	16.0
Diciembre	120	109	11	11	9.2
Total	765		39	87	83.7%

$$\text{DAM} = \frac{\sum |E_t|}{n} = \frac{87}{7} = 12.4 \text{ y EPAM} = \frac{\left(\sum |E_t|/D_t\right)(100)}{n} = \frac{83.7\%}{7} = 11.96\%$$

c) Hasta fines de diciembre, la suma acumulada de los errores de pronóstico (SAE) es 39. Con la desviación absoluta media calculada en el inciso *b*, podemos calcular la señal de rastreo:

$$\text{Señal de rastreo} = \frac{\text{SAE}}{\text{DAM}} = \frac{39}{12.4} = 3.14$$

La probabilidad de que un valor de 3.14 de la señal de rastreo se pueda generar completamente por el azar es pequeña. En consecuencia, debemos revisar nuestro enfoque. La larga cadena de pronósticos menores que la demanda real sugiere utilizar un método con tendencia.

Problema resuelto 4

La oficina postal de Northville experimenta un patrón estacional del volumen diario de correo cada semana. Los siguientes datos para las dos semanas representativas se expresan en miles de piezas de correo:

Día	Semana 1	Semana 2
Domingo	5	8
Lunes	20	15
Martes	30	32
Miércoles	35	30
Jueves	49	45
Viernes	70	70
Sábado	15	10
Total	224	210

a) Calcule un factor estacional para cada día de la semana.

b) Si el jefe de correos estima que deberá clasificar 230,000 piezas de correo la próxima semana, pronostique el volumen para cada día de la semana.

SOLUCIÓN

a) Calcule el promedio diario de correo para cada semana. Luego, para cada día, divida el volumen de correo entre el promedio de la semana para obtener el factor estacional. Por último, para cada día, sume los dos factores estacionales y divida la suma entre dos para obtener el factor estacional promedio para usarlo en el pronóstico [vea el inciso *b*)].

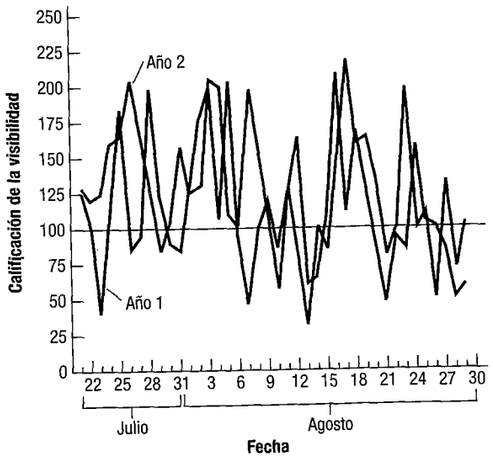
	SEMANA 1		SEMANA 2		
Día	Volumen de correo	Factor estacional (1)	Volumen de correo	Factor estacional (2)	Factor estacional promedio [(1) + (2)]/2
Domingo	5	5/32 = 0.15625	8	8/30 = 0.26667	0.21146
Lunes	20	20/32 = 0.62500	15	15/30 = 0.50000	0.56250
Martes	30	30/32 = 0.93750	32	32/30 = 1.06667	1.00209
Miércoles	35	35/32 = 1.09375	30	30/30 = 1.00000	1.04688
Jueves	49	49/32 = 1.53125	45	45/30 = 1.50000	1.51563
Viernes	70	70/32 = 2.18750	70	70/30 = 2.33333	2.26042
Sábado	15	15/32 = 0.46875	10	10/30 = 0.33333	0.40104
Total	224		210		
Promedio	224/7 = 32		210/7 = 30		

b) Se espera que el volumen promedio diario de correo sea 230,000/7 = 32,857 piezas de correo. Con los factores estacionales promedio calculados en el inciso *a*), obtenemos los siguientes pronósticos:

Día	Cálculos		Pronóstico
Domingo	0.21146(32,857) =		6,948
Lunes	0.56250(32,857) =		18,482
Martes	1.00209(32,857) =		32,926
Miércoles	1.04688(32,857) =		34,397
Jueves	1.51563(32,857) =		49,799
Viernes	2.26042(32,857) =		74,271
Sábado	0.40104(32,857) =		13,177
		Total	230,000

Preguntas para análisis

1. La figura 14.9 muestra las medidas de visibilidad del aire de verano para Denver, Colorado. El estándar de visibilidad aceptable es 100, lo que indica aire limpio y buena visibilidad; las lecturas por debajo de 100 indican temperaturas de inversión ocasionadas por incendios forestales, erupciones volcánicas o colisiones de cometas.
   a) ¿Es evidente una tendencia en los datos? ¿Qué técnicas de series de tiempo pueden ser apropiadas para estimar el promedio de estos datos?
   b) Un centro médico para atención del asma y de enfermedades respiratorias localizado en Denver tiene una gran demanda de estos servicios cuando la calidad del aire es mala. Si usted estuviera a cargo de desarrollar un pronóstico de visibilidad a corto plazo (digamos, tres días), ¿qué factores causales analizaría? En otras palabras, ¿qué factores externos tienen el potencial de afectar la visibilidad de manera significativa en el *corto plazo*?
   c) El turismo, un factor importante en la economía de Denver, está afectado por la imagen de la ciudad. La calidad del aire, medida por la visibilidad, afecta la imagen de la ciudad. Si fuera responsable del desarrollo turístico, ¿qué factores causales analizaría para pronosticar la visibilidad en el *mediano plazo* (digamos, los siguientes dos veranos)?
   d) El gobierno federal amenaza con detener varios millones de dólares de los fondos del Departamento de Transporte, a menos que Denver cumpla con los estándares de visibilidad en los próximos ocho años. ¿Cómo procedería para generar pronósticos de juicio a *largo plazo* de las tecnologías que estarán disponibles para mejorar la visibilidad en los siguientes 10 años?



▲ **FIGURA 14.9**
Medidas de la visibilidad del aire de verano

2. Kay y Michael Passe publican *¿Qué está sucediendo?*, un periódico quincenal para dar publicidad a eventos locales. *¿Qué está sucediendo?* tiene pocos suscriptores; en general, se vende en las cajas de supermercados. Gran parte del ingreso proviene de los anuncios de ventas de garaje y especiales de supermercados. En un esfuerzo por reducir los costos asociados con imprimir demasiados ejemplares en papel o con la entrega al lugar equivocado, Michael implementó un sistema computarizado para recolectar los datos de ventas. Los escáneres en las cajas registran las ventas en cada lugar. Desde que se implementó el sistema, el volumen de ventas totales ha declinado de manera estable. El espacio para anuncios y mantener el espacio de anaquel en los supermercados es cada vez más difícil.

   Los ingresos reducidos hacen que el control de costos sea más importante. Para cada número, Michael hace un pronóstico cuidadoso con base en los datos de ventas recolectados en cada lugar. Luego, ordena ejemplares para imprimir y distribuir en cantidades iguales al pronóstico. Los pronósticos reflejan una tendencia hacia abajo, que está presente en los datos de ventas. Ahora solo quedan unos cuantos periódicos en algunos lugares. Aunque el pronóstico de ventas predice con precisión las ventas reales en casi todos los puntos, *¿Qué está sucediendo?* va en espiral hacia el olvido. Kay supone que Michael está haciendo algo mal al preparar el pronóstico, pero no puede encontrar errores matemáticos. Dígales qué está sucediendo.

Problemas

El OM Explorer y POM para Windows están disponibles para todos los estudiantes de la décima edición de este libro. Vaya a **www.pearsonhighered.com/krajewski** para bajar estos paquetes de computadora. Si compró MyOMLab, también tiene acceso al software de modelos activos y mucha ayuda para resolver los siguientes problemas. Verifique con su instructor la mejor manera de usar estos recursos. En muchos casos, el instructor le pedirá que comprenda cómo se hacen los cálculos a mano. Por lo menos, el software proporciona una verificación de sus cálculos. Cuando los cálculos son muy complejos y la meta es interpretar los resultados al tomar una decisión, el software sustituye por completo los cálculos manuales.

1. La dueña de una tienda de computadoras renta impresoras a algunos de sus clientes preferidos. Ella está interesada en llegar a un pronóstico de rentas para poder ordenar la cantidad correcta de los suministros que necesitan las impresoras. Los datos de las últimas 10 semanas se muestran en la siguiente tabla.

Semana	Rentas	Semana	Rentas
1	23	6	28
2	24	7	32
3	32	8	35
4	26	9	26
5	31	10	24

   a) Prepare un pronóstico para las semanas 6 a 10 utilizando un promedio móvil de cinco semanas. ¿Cuál es el pronóstico para la semana 11?
   b) Calcule la desviación media absoluta a partir del final de la semana diez.

2. Las ventas de los últimos 12 meses en Dalworth Company se dan enseguida.

Mes	Ventas (millones de $)	Mes	Ventas (millones de $)
Enero	20	Julio	53
Febrero	24	Agosto	62
Marzo	27	Septiembre	54
Abril	31	Octubre	36
Mayo	37	Noviembre	32
Junio	47	Diciembre	29

   a) Utilice un promedio móvil de tres meses para pronosticar las ventas para los meses de mayo a diciembre.
   b) Use un promedio móvil de cuatro meses para pronosticar las ventas para los meses de mayo a diciembre.
   c) Compare el desempeño de los dos métodos utilizando la desviación media absoluta como criterio de desempeño. ¿Qué método recomendaría?
   d) Compare el desempeño de los dos métodos usando el error porcentual absoluto medio como criterio de desempeño. ¿Qué método recomendaría?
   e) Compare el desempeño de los dos métodos utilizando el error cuadrado medio como criterio de desempeño. ¿Qué método recomendaría?

3. Karl's Copiers vende y repara fotocopiadoras. El administrador necesita pronósticos semanales de las llamadas de servicio para poder programar al personal del servicio. Utilice la demanda real en el primer periodo para el pronóstico de la primera semana de manera que la medida del error comience la segunda semana. El administrador utiliza suavizamiento exponencial con $\alpha = 0.20$. Pronostique el número de llamadas para la semana seis, que es la próxima.

Semana	Llamadas de servicio reales
1	24
2	32
3	36
4	23
5	25

4. Considere los datos de venta para Dalworth Company porporcionados en el problema 2.
   a) Utilice un promedio móvil ponderado para pronosticar las ventas de los meses de abril a diciembre. Use los pesos (3/6), (2/6) y (1/6), dando más peso al dato más reciente.
   b) Utilice suavizamiento exponencial con $\alpha = 0.6$ para pronosticar las ventas de los meses de abril a diciembre. Suponga que el pronóstico inicial para enero era $22 millones. Inicie la medición del error en abril.
   c) Compare el desempeño de los dos métodos con la desviación media absoluta como criterio de desempeño, con la medida del error comenzando en abril. ¿Qué método recomendaría?
   d) Compare el desempeño de los dos métodos con el error porcentual medio absoluto como criterio de desempeño, con la medida del error comenzando en abril. ¿Qué método recomendaría?
   e) Compare el desempeño de los dos métodos usando el error cuadrático medio como criterio de desempeño, con la medida comenzando en abril. ¿Qué método recomendaría?

5. Una tienda de conveniencia acaba de comenzar a vender una nueva marca de refresco. El administrador está interesado en estimar el volumen futuro de ventas para determinar si debe continuar o no manejándolo o reemplazarlo con otra marca. La siguiente tabla proporciona el número de latas vendidas por semana. Utilice los métodos de proyección de tendencia con regresión y suavizamiento exponencial (sea $\alpha = 0.4$ con pronóstico inicial para la semana 1 de 617) para pronosticar la demanda de la semana 13. Compare estos métodos usando la desviación absoluta media y el error porcentual absoluto medio como criterios de desempeño. ¿Sugiere en su análisis que las ventas tienen una tendencia y, si es así, de cuánto?

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ventas	617	617	648	739	659	623	742	704	724	715	668	740

6. El Community Federal Bank en Dothan, Alabama, recientemente aumentó sus cuotas a los clientes que hacen sus transacciones con sus empleados. La administración desea saber si su nueva política de cuotas ha aumentado el uso de sus cajeros automáticos al punto de que se requieran más máquinas. La siguiente tabla proporciona el número de transacciones en cajero automático por semana. Utilice la proyección de tendencia con regresión para pronosticar el uso durante las semanas 13 a 16.

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Transacciones	716	721	833	639	689	736	779	711	723	835	829	667

7. El número de cirugías del corazón realizadas en Heartville General Hospital ha aumentado en forma estable en los últimos años. La administración del hospital está buscando el mejor método para pronosticar la demanda de esas cirugías en el año seis. Los datos de los últimos cinco años se muestran en la tabla.

Año	Demanda
1	45
2	50
3	52
4	56
5	58

La administración del hospital está considerando los siguientes métodos de pronósticos. Comience la medida del error en el año tres para comparar todos los métodos en los mismos años.

- **i.** Suavizamiento exponencial con $\alpha = 0.6$. El pronóstico inicial para el año uno es 45, igual que la demanda real.
- **ii.** Suavizamiento exponencial con $\alpha = 0.9$. El pronóstico inicial para el año uno es 45, igual que la demanda real.
- **iii.** Proyección de tendencia con regresión.
- **iv.** Promedio móvil de dos años.
- **v.** Promedio móvil ponderado de dos años, con pesos de 0.6 y 0.4, dando más peso al dato más reciente.
- **vi.** Si la administración elige DAM como criterio de desempeño, ¿qué método de pronósticos debe seleccionar?
- **vii.** Si la administración elige EMC como criterio de desempeño, ¿qué método de pronósticos debe seleccionar?
- **viii.** Si la administración elige EPAM como criterio de desempeño, ¿qué método de pronósticos debe seleccionar?

8. Los siguientes datos son de ventas de calculadoras en unidades en una tienda de electrónicos durante las últimas nueve semanas:

Semana	Ventas	Semana	Ventas
1	46	6	58
2	49	7	62
3	43	8	56
4	50	9	63
5	53		

Utilice la proyección de tendencia con regresión para pronosticar las ventas para las semanas 10 a 13. ¿Cuáles son las medidas de error (SAE, EMC, σ, DAM y EPAM) para este procedimiento de pronósticos? ¿Qué ocurre con r^2?

9. La demanda de Krispee Crunchies, un cereal favorito en el desayuno para personas que nacieron en la década de 1940, está en declive. La compañía quiere monitorear de cerca la demanda de este producto conforme se acerca al final de su ciclo de vida. La siguiente tabla muestra las ventas reales históricas de enero a octubre. Genere los pronósticos de noviembre a diciembre con el método de proyección de tendencia con regresión. Observe la exactitud de este pronóstico sobre el archivo histórico, al igual que todas las otras estadísticas proporcionadas, ¿qué tanta confianza siente en estos pronósticos para noviembre a diciembre?

Mes	Ventas	Mes	Ventas
Enero	890,000	Julio	710,000
Febrero	800,000	Agosto	730,000
Marzo	825,000	Septiembre	680,000
Abril	840,000	Octubre	670,000
Mayo	730,000	Noviembre	
Junio	780,000	Diciembre	

10. Forrest y Dan fabrican cajas de chocolates, pero la demanda es incierta. Forrest se resigna y dice, simplemente: "Así es la vida". Sin embargo, Dan piensa que existen algunos patrones de demanda que pueden ser útiles para planear la compra de azúcar, chocolate y camarones secos. Forrest planea colocar "cajas de sorpresas", que consisten en camarones secos cubiertos de chocolate, como regalo, en algunas cajas, para que sus clientes "nunca sepan con qué se pueden encontrar". La demanda trimestral (expresada en cajas de chocolates) para los últimos tres años es la siguiente:

Trimestre	Año 1	Año 2	Año 3
1	3,000	3,300	3,502
2	1,700	2,100	2,448
3	900	1,500	1,768
4	4,400	5,100	5,882
Total	10,000	12,000	13,600

a) Utilice la intuición y el buen juicio para estimar la demanda trimestral correspondiente al cuarto año.

b) Si las ventas esperadas de los chocolates son de 14,800 cajas para el año cuatro, utilice el método estacional multiplicativo para preparar un pronóstico para cada trimestre del año. ¿Algunos de los pronósticos trimestrales es diferente de lo que usted supuso en el inciso *a)*?

11. El administrador de Snyder's Garden Center debe elaborar sus planes anuales de compras de rastrillos, guantes y otros artículos de jardinería. Uno de los artículos que la compañía tiene en inventario es el fertilizante líquido Fast-Grow. Las ventas de este artículo son estacionales, con picos en los meses de primavera, verano y otoño. La demanda trimestral (expresada en cajas) en los dos últimos años es la siguiente:

Trimestre	Año 1	Año 2
1	40	60
2	350	440
3	290	320
4	210	280
Total	890	1,100

Si las ventas esperadas de Fast-Grow son 1,150 cajas para el año tres, utilice el método estacional multiplicativo para preparar un pronóstico para cada trimestre del año.

12. El administrador de una compañía de servicios públicos en un territorio de Texas desea desarrollar pronósticos trimestrales de las cargas de energía para el siguiente año. Las cargas de energía son estacionales y los datos de carga trimestral en megawatts (MW) para los últimos cuatro años son los siguientes:

Trimestre	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
1	103.5	94.7	118.6	109.3
2	126.1	116.0	141.2	131.6
3	144.5	137.1	159.0	149.5
4	166.1	152.5	178.2	169.0

El administrador estima la demanda total para el siguiente año en 600 MW. Utilice el método estacional multiplicativo para desarrollar los pronósticos para cada trimestre.

13. La demanda de cambios de aceite en Garcia's Garage ha sido la siguiente:

Mes	Número de cambios de aceite
Enero	41
Febrero	46
Marzo	57
Abril	52
Mayo	59
Junio	51
Julio	60
Agosto	62

a) Utilice análisis de regresión lineal para desarrollar un modelo de pronósticos para la demanda mensual. En esta aplicación la variable dependiente, *Y*, es la demanda mensual y la variable independiente, *X*, es el mes. Para enero, $X = 1$; para febrero, $X = 2$; etcétera.

b) Utilice el modelo para pronosticar la demanda de septiembre, octubre y noviembre. Ahora, $X = 9$, 10 y 11, respectivamente.

14. En una fábrica de procesamiento de hidrocarburos, el proceso de control involucra análisis periódicos de muestras para cierto parámetro de calidad del proceso. El procedimiento analítico que se usa actualmente es costoso y tardado. Se ha propuesto un procedimiento alternativo más rápido y económico. Sin embargo, los números para el parámetro de calidad dados por el procedimiento alternativo son algo distintos de los datos por el procedimiento actual, no por errores inherentes sino debido a los cambios en la naturaleza del análisis químico.

La administración piensa que si los números del nuevo procedimiento se pueden usar para pronosticar de manera confiable los números correspondientes del procedimiento actual, el cambio al nuevo procedimiento será razonable y efectivo en costo. Los siguientes datos se obtuvieron para los parámetros de calidad analizando muestras con ambos procedimientos:

Actual (*Y*)	Propuesto (*X*)	Actual (*Y*)	Propuesto (*X*)
3.0	3.1	3.1	3.1
3.1	3.9	2.7	2.9
3.0	3.4	3.3	3.6
3.6	4.0	3.2	4.1
3.8	3.6	2.1	2.6
2.7	3.6	3.0	3.1
2.7	3.6	2.6	2.8

a) Utilice el método de regresión lineal para encontrar una relación para pronosticar *Y*, que es el parámetro de calidad del procedimiento actual, usando los valores del procedimiento propuesto, *X*.

a) ¿Existe una relación fuerte entre *Y* y *X*? Explique.

15. Ohio Swiss Milk Products fabrica y distribuye helado en Ohio, Kentucky, y el oeste de Virginia. La compañía quiere expandir sus operaciones estableciendo otra planta en el norte de Ohio. El tamaño de la nueva planta se determinará en función de la demanda esperada del helado en el área atendida por la planta. Se está realizando una investigación de mercado para determinar esa demanda.

Ohio Swiss desea estimar la relación entre el costo por galón para el fabricante y el número de galones vendidos en un año para determinar la demanda de helado y, con ella, el tamaño de la nueva planta. Se reunieron los datos siguientes:

a) Desarrolle una ecuación de regresión para pronosticar el costo por galón como una función del número de galones producido.

Planta	Costo por miles de galones (*Y*)	Miles de galones vendidos (*X*)
1	$ 1,015	416.9
2	973	472.5
3	1,046	250.0
4	1,006	372.1
5	1,058	238.1
6	1,068	258.6
7	967	597.0
8	997	414.0
9	1,044	263.2
10	1,008	372.0
Total	$10,182	3,654.4

b) ¿Cuál es el coeficiente de correlación y el coeficiente de determinación? Comente sobre su ecuación de regresión a la luz de estas medidas.

c) Suponga que la investigación de mercado indica una demanda de 325,000 galones en el área de Bucyrus, Ohio. Estime el costo de manufactura por galón para una planta que produce 325,000 galones al año.

Problemas avanzados

16. Franklin Tooling, Inc. fabrica herramientas especializadas para empresas en la industria del papel. Todos sus productos se elaboran bajo pedido, por lo que la compañía nunca sabe exactamente qué componentes comprar para una herramienta hasta que el cliente coloca una orden. Sin embargo, la compañía piensa que la demanda semanal de unas cuantas componentes es bastante estable. La componente 135.AG es una de ellas. A continuación se muestran las últimas 26 semanas de la utilización histórica de la componente 135.AG.

Semana	Demanda	Semana	Demanda
1	137	14	131
2	136	15	132
3	143	16	124
4	136	17	121
5	141	18	127
6	128	19	118
7	149	20	120
8	136	21	115
9	134	22	106
10	142	23	120
11	125	24	113
12	134	25	121
13	118	26	119

Utilice el Solver de *Pronósticos de series de tiempo* de OM Explorer para evaluar los siguientes métodos de pronósticos. Comience la medición del error en la quinta semana, para evaluar todos los métodos en el mismo intervalo de tiempo. Utilice los valores establecidos para los pronósticos iniciales.

i. Ingenuo (promedio móvil de un periodo).

ii. Promedio móvil de tres periodos.

iii. Suavizamiento exponencial con $\alpha = .28$

iv. Proyección de tendencia con regresión.

v. Diga qué método de pronósticos debe usar la administración, si el criterio de desempeño que elige es:

- SAE.
- EMC.
- DAM.
- EPAM.

17. Cree una hoja de Excel usted mismo para obtener los pronósticos combinados del problema 16. Cree un pronóstico combinado usando las cuatro técnicas del problema 16. Asigne a cada técnica un peso igual. Cree un segundo pronóstico combinado utilizando las tres técnicas que parezcan mejores según DAM. Dé el mismo peso a cada técnica. Por último, cree un tercer pronóstico ponderando igual las dos mejores técnicas. Calcule SAE, DAM, EMC y EPAM para el pronóstico combinado. ¿Son estos factores mejores o peores que las técnicas de pronósticos identificadas en el problema 16?

18. El director de una gran biblioteca pública tiene que programar las actividades de los empleados encargados de devolver los libros a los anaqueles y de sacar las publicaciones periódicas que devuelven los usuarios de la biblioteca. El número de artículos que salen

determinará los requerimientos de mano de obra. Los siguientes datos reflejan el número de artículos prestados durante los últimos tres años.

Mes	Año 1	Año 2	Año 3
Enero	1,847	2,045	1,986
Febrero	2,669	2,321	2,564
Marzo	2,467	2,419	2,635
Abril	2,432	2,088	2,150
Mayo	2,464	2,667	2,201
Junio	2,378	2,122	2,663
Julio	2,217	2,206	2,055
Agosto	2,445	1,869	1,678
Septiembre	1,894	2,441	1,845
Octubre	1,922	2,291	2,065
Noviembre	2,431	2,364	2,147
Diciembre	2,274	2,189	2,451

El director necesita un método de series de tiempo para pronosticar el número de artículos que se prestarán durante el mes próximo. Encuentre el mejor pronóstico de promedios posible, con el método de móvil simple. Defina qué entiende por el "mejor" y justifique su decisión.

19. Utilice los datos del problema 18 para encontrar la mejor solución de suavizamiento exponencial que pueda. Justifique su respuesta.

20. Utilice los datos del problema 18 para encontrar la mejor proyección de tendencia con la regresión que pueda. Compare el desempeño de este método con el mejor método de promedio móvil (el problema 18) y el método de suavizamiento exponencial (del problema 19). ¿Cuál de estos tres métodos elegiría?

21. Cannister, Inc. se especializa en la fabricación de contenedores de plástico. Los datos de ventas mensuales de botellas de champú en los últimos cinco años son los siguientes:

Año	1	2	3	4	5
Enero	742	741	896	951	1,030
Febrero	697	700	793	861	1,032
Marzo	776	774	885	938	1,126
Abril	898	932	1,055	1,109	1,285
Mayo	1,030	1,099	1,204	1,274	1,468
Junio	1,107	1,223	1,326	1,422	1,637
Julio	1,165	1,290	1,303	1,486	1,611
Agosto	1,216	1,349	1,436	1,555	1,608
Septiembre	1,208	1,341	1,473	1,604	1,528
Octubre	1,131	1,296	1,453	1,600	1,420
Noviembre	971	1,066	1,170	1,403	1,119
Diciembre	783	901	1,023	1,209	1,013

a) Con el método estacional multiplicativo, calcule los índices estacionales mensuales.

b) Desarrolle una ecuación de regresión lineal simple para pronosticar las ventas anuales. Para esta regresión, la variable dependiente, *Y*, es la demanda cada año y la variable independiente, *X*, es el índice para el año (esto es, $X = 1$ para el año uno, $X = 2$ para el año dos, hasta $X = 5$ para el año cinco).

c) Pronostique las ventas anuales para el año seis utilizando el modelo de regresión que desarrolló en el inciso *b*).

d) Prepare el pronóstico estacional para cada mes utilizando los índices estacionales calculados en el inciso *a*).

22. Midwest Computer Company atiende a un gran número de negocios en la región de los grandes lagos. La compañía vende suministros y repuestos y da servicio a las computadoras que vende a través de siete oficinas de ventas. Muchos artículos se almacenan, por lo que debe tenerse un control de inventarios estrecho para asegurar un servicio eficiente para los clientes. Recientemente, el negocio ha crecido y la administración está preocupada por los faltantes. Necesita un método de pronósticos para estimar los requerimientos de varios meses para comprar las cantidades de reabastecimiento adecuadas. Un ejemplo del crecimiento en las ventas ocurrido durante los últimos 50 meses es la creciente demanda del artículo EP-37, un cartucho para impresora láser, mostrado en la tabla 14.3.

a) Desarrolle una solución de proyección de tendencia con regresión en el OM Explorer. Pronostique la demanda para el mes 51.

b) Un consultor para la administración de Midwest sugiere que la renta de nuevos edificios de oficinas será un buen indicador para las ventas de la compañía. El consultor citó un estudio reciente de la universidad que concluye que la renta de nuevos edificios de oficinas precede por tres meses a la venta de equipo y suministros de oficina. Según el estudio, los contratos de renta en el mes uno afectarán las ventas en el mes cuatro, las rentas en el mes dos afectarán las ventas del mes cinco, etcétera. Utilice el módulo de regresión lineal de POM para Windows para desarrollar un modelo de pronósticos para las ventas, con las rentas como variable independiente. Pronostique las venas para el mes 51.

c) ¿Cuál de los dos modelos proporciona mejores pronósticos? Explique.

23. Cierto artículo de comida en los Supermercados P&Q tiene el patrón de demanda mostrado en la tabla sin número de la siguiente página. Existen cinco periodos por ciclo. Encuentre el "mejor" pronóstico que pueda para el mes 25 y justifique su metodología. Si desea explorar el método de *pronósticos estacionales* como una técnica probada, encontrará que el Solver de Pronósticos estacionales de OM Explorer no cubre el caso en que hay cinco periodos en un ciclo (o estaciones en un año). Debe hacer ciertos cálculos manuales o escribirlos en una hoja de Excel.

TABLA 14.3 | DATOS DE RENTAS Y VENTAS DEL EP-37

Mes	Ventas EP-37	Rentas	Mes	Ventas EP-37	Rentas
1	80	32	26	1,296	281
2	132	29	27	1,199	298
3	143	32	28	1,267	314
4	180	54	29	1,300	323
5	200	53	30	1,370	309
6	168	89	31	1,489	343
7	212	74	32	1,499	357
8	254	93	33	1,669	353
9	397	120	34	1,716	360
10	385	113	35	1,603	370
11	472	147	36	1,812	386
12	397	126	37	1,817	389
13	476	138	38	1,798	399
14	699	145	39	1,873	409
15	545	160	40	1,923	410
16	837	196	41	2,028	413
17	743	180	42	2,049	439
18	722	197	43	2,084	454
19	735	203	44	2,083	441
20	838	223	45	2,121	470
21	1,057	247	46	2,072	469
22	930	242	47	2,262	490
23	1,085	234	48	2,371	496
24	1,090	254	49	2,309	509
25	1,218	271	50	2,422	522

Periodo	Demanda	Periodo	Demanda
1	33	13	37
2	37	14	43
3	31	15	56
4	39	16	41
5	54	17	36
6	38	18	39
7	42	19	41
8	40	20	58
9	41	21	42
10	54	22	45
11	43	23	41
12	39	24	38

24. Los datos para la gráfica de visibilidad en la pregunta para discusión 1 se muestran en la tabla 14.4. El estándar de visibilidad está establecido en 100. Las lecturas menores que 100 indican que la contaminación ha reducido la visibilidad y las lecturas mayores que 100 indican que el aire está más claro.

a) Utilice varios métodos para generar un pronóstico de visibilidad para el 31 de agosto del segundo año. ¿Qué método parece producir el mejor resultado?

b) Utilice varios métodos para pronosticar el índice de visibilidad para el verano del tercer año. ¿Qué método parece producir el mejor pronóstico? Apoye su elección.

25. Tom Glass pronostica la demanda de electricidad para la compañía de luz Flatlands Public Power District (FPPD). La compañía desea cerrar su planta de energía de Comstock para mantenimiento cuando se espere que la demanda sea baja. Después de cerrar, realizar el mantenimiento y poner de nuevo en marcha la planta toma dos semanas. El servicio tiene suficiente capacidad de generación en otras fuentes para satisfacer una demanda

TABLA 14.4 | DATOS DE VISIBILIDAD

Fecha	Año 1	Año 2	Fecha	Año 1	Año 2	Fecha	Año 1	Año 2
22/jul.	125	130	5/ago.	105	200	19/ago.	170	160
23	100	120	6	205	110	20	125	165
24	40	125	7	90	100	21	85	135
25	100	160	8	45	200	22	45	80
26	185	165	9	100	160	23	95	100
27	85	205	10	120	100	24	85	200
28	95	165	11	85	55	25	160	100
29	200	125	12	125	130	26	105	110
30	125	85	13	165	75	27	100	50
31	90	105	14	60	30	28	95	135
1/ago.	85	160	15	65	100	29	50	70
2	135	125	16	110	85	30	60	105
3	175	130	17	210	150			
4	200	205	18	110	220			

de 1,550 megawats (MW), mientras Comstock está fuera de servicio. La tabla 14.5 al final de los problemas avanzados muestra las demandas pico semanales (en MW) para varios otoños pasados. ¿Cuándo en el siguiente otoño debe Comstock programar la planta para mantenimiento?

26. Un fabricante busca desarrollar un mejor pronóstico para un producto importante y piensa que existe una tendencia en los datos. Se ha establecido el Solver de *Proyección de tendencia con regresión* de OM Explorer con las 47 demandas en el archivo histórico. Observe el botón para cargar los datos del problema 26: "Load Problem 26 Data" en ese Solver que cuando se oprime, automáticamente pondrá los datos. De otra manera, puede ingresar los datos de demanda directamente en la hoja de entradas.

Año	1	2	3	4
Ene.	4507	4589	4084	4535
Feb.	4400	4688	4158	4477
Mar.	4099	4566	4174	4601
Abr.	4064	4485	4225	4648
May.	4002	4385	4324	4860
Jun.	3963	4377	4220	4998
Jul.	4037	4309	4267	5003
Ago.	4162	4276	4187	4960
Sep.	4312	4280	4239	4943
Oct.	4395	4144	4352	5052
Nov.	4540	4219	4331	5107
Dic.	4471	4052	4371	

a) ¿Cuál es su pronóstico para diciembre del año cuatro, tomando el periodo uno como el periodo de inicio para la regresión?

b) La demanda real para el periodo 48 acaba de determinarse como 5,100. Añada esta demanda al archivo de datos y cambie el periodo de inicio para la regresión al periodo dos para que el número de periodos en la regresión no cambie. ¿Cuánto cambió el pronóstico para el periodo 49 respecto al del periodo 48? ¿Y las medidas del error? ¿Le sorprendió este resultado?

c) Ahora cambie el tiempo de inicio de la regresión al periodo 25 y repita el proceso. ¿Qué diferencias observa ahora? ¿Qué pronóstico hará para el periodo 49?

27. Una empresa manufacturera ha desarrollado una prueba de habilidades cuyas calificaciones se pueden usar para predecir los factores de la tasa de producción del trabajador. Se muestran a continuación los datos de las calificaciones de varios trabajadores y sus tasas de producción subsecuentes.

Trabajador	Calificación de la prueba	Tasa de producción	Trabajador	Calificación de la prueba	Tasa de producción
A	53	45	K	54	59
B	36	43	L	73	77
C	88	89	M	65	56
D	84	79	N	29	28
E	86	84	O	52	51
F	64	66	P	22	27
G	45	49	Q	76	76
H	48	48	R	32	34
I	39	43	S	51	60
J	67	76	T	37	32

a) Utilice el módulo de regresión lineal por mínimos cuadrados de POM para Windows para desarrollar una relación de las calificaciones de las pruebas con los pronósticos de las tasas de producción.

b) Si la calificación de la prueba de un trabajador fue 80, ¿cuál sería su pronóstico de la tasa de producción del trabajador?

c) Comente la fuerza de la relación entre las calificaciones de la prueba y la tasa de producción.

28. El administrador de manejo de materiales de una compañía manufacturera está intentando pronosticar el costo de mantenimiento para la flota de tractores de carretera de la compañía. El administrador cree que el costo de dar mantenimiento a los tractores tiende a aumentar en la medida que los vehículos tienen más años de uso. Se recolectaron los siguientes datos:

Años	Costo anual de mantenimiento ($)	Años	Costo anual de mantenimiento ($)
4.5	619	5.0	1,194
4.5	1,049	0.5	163
4.5	1,033	0.5	182
4.0	495	6.0	764
4.0	723	6.0	1,373
4.0	681	1.0	978
5.0	890	1.0	466
5.0	1,522	1.0	549
5.5	987		

a) Utilice el módulo de regresión lineal con mínimos cuadrados de POM para Windows para desarrollar una relación del pronóstico del costo de mantenimiento anual con la cantidad de años del tractor.

b) Si una sección tiene 20 tractores de tres años de antigüedad, ¿cuál es el pronóstico para el costo de mantenimiento anual?

TABLA 14.5 | PICO SEMANAL DE LA DEMANDA DE ENERGÍA

	AGOSTO			SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE	
Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	2,050	1,925	1,825	1,525	1,050	1,300	1,200	1,175	1,350	1,525	1,725	1,575	1,925
2	2,000	2,075	2,225	1,800	1,175	1,050	1,250	1,025	1,300	1,425	1,625	1,950	1,950
3	1,950	1,800	2,150	1,725	1,575	1,275	1,325	1,100	1,500	1,550	1,375	1,825	2,000
4	2,100	2,400	1,975	1,675	1,350	1,525	1,500	1,150	1,350	1,225	1,225	1,475	1,850
5	2,275	2,300	2,150	1,525	1,350	1,475	1,475	1,175	1,375	1,400	1,425	1,550	1,900

CASO EN VIDEO — Pronósticos y administración de la cadena de suministro en Deckers Outdoor Corporation

Los productos para los pies de Deckers Outdoor Corporation están entre las marcas mejor conocidas en el mundo. De las botas de piel de borrego UGG y las sandalias sport a los zapatos Simple, las pantuflas Deckers y los zapatos Tsubo, Decker está dedicado a convertir las marcas de zapatos de nicho en marcas globales con posiciones de liderazgo en el mercado. Las ventas netas para el año fiscal de 2007 eran cercanas a $449 millones. Además de las tiendas minoristas tradicionales para los estilos de zapatos de Deckers, la compañía mantiene activa y creciente la venta directa al consumidor por el comercio electrónico. Como la mayoría de las tiendas no tienen todos los estilos en todos los colores y tamaños, la compañía ofrece la línea completa de cada una de sus marcas directamente al cliente a través de los sitios Web individuales de cada marca. Su grupo de comercio electrónico maneja las ventas en línea de su tienda virtual. Los clientes que desean un par de zapatos que no está disponible en la tienda minorista lo pueden comprar en la tienda virtual.

Fundada en 1973, la compañía producía una sola línea de sandalias en una pequeña fábrica en el sur de California. Los retos de manejar las materias primas y los inventarios de productos terminados eran pequeños comparados con los retos de ventas y contratos globales de hoy para las diferentes marcas de la compañía. Hoy, cada marca tiene su propio equipo de desarrollo y administrador de la marca que genera, desarrolla y prueba en el mercado los estilos de la temporada que aparecen en los anaqueles de tiendas como Nordstrom, Lord & Taylor, REI, Walking Company y las propias tiendas UGG de la compañía en Estados Unidos y Japón.

En Deckers, el pronóstico es el punto de partida para la administración del inventario, la planeación de operaciones y ventas, planeación de recursos y programación; en resumen, la administración de la cadena de suministro. Mantiene una cantidad considerable de inventario de la temporada. El calzado con demanda estacional que queda al final de su temporada debe venderse con grandes descuentos. Sus productos se dividen en tres categorías: **1.** artículos trasladados que se vendieron en años anteriores, **2.** artículos nuevos que se parecen a los vendidos en años anteriores y **3.** diseños completamente nuevos que están de moda y no tienen historia previa.

Dos veces al año, los equipos de desarrollo de marca trabajan las líneas de productos de otoño y primavera. Presentan diseños nuevos casi un año

Pearson

antes de cada temporada. Cada marca (UGG, Teva, Simple, Tsubo y Deckers) contiene numerosos productos llamados SKU. Los materiales para los nuevos diseños se seleccionan y prueban en prototipos. Los diseños aprobados se colocan en la fila para la temporada. Debe obtenerse pronósticos a los niveles de SKU y agregados, meses antes de iniciar la temporada. Los pronósticos "hasta el fondo" para cada SKU comienzan por analizar cualquier archivo histórico disponible de demanda anterior. Los pronósticos de juicio también son entradas importantes, en particular para la segunda o tercera categorías de zapatos que no son trasladados. Por ejemplo, Char Nicanor-Kimball es un experto en detectar tendencias en las ventas de calzado y hace pronósticos para la tienda virtual. Para los nuevos diseños, se usan las ventas históricas de productos similares para hacer la mejor conjetura para la demanda de esos artículos. Este proceso se facilita con un sistema de inventarios y pronósticos en la página Intranet de la compañía. Al mismo tiempo, los equipos de ventas para cada marca llaman a sus cuentas de minoristas y aseguran las órdenes de los clientes de los diseños aprobados para la siguiente temporada. Luego, los pronósticos de la tienda virtual se fusionan con las órdenes de las tiendas para obtener la demanda estacional pronosticada por SKU. Después, los pronósticos de los SKU se "resumen" por categoría y también se obtienen pronósticos de "arriba abajo".

Estos pronósticos se envían a la alta administración, donde se pueden hacer ajustes para tomar en cuenta condiciones financieras, crédito del consumidor, clima, factores demográficos y confianza del cliente. El impacto de las relaciones públicas y la publicidad también deben considerarse.

En realidad, los pronósticos continúan durante todo el año de manera diaria y semanal para "tener una idea" de la demanda. Comparando la demanda real con la pronosticada para diferentes partes de la temporada también ayuda a obtener mejores pronósticos en el futuro y mejor control de inventarios.

Con base en los pronósticos iniciales de la demanda, la compañía debe comenzar a buscar fuentes de los materiales necesarios para producir los zapatos. La compañía hace la mayoría de sus productos en China y compra las materias primas también ahí. Para los productos UGG, las fuentes de piel de borrego están en Australia con productores de alto nivel, pero el tratamiento de la piel se hace en China. Con los proveedores potenciales identificados y la seguridad por parte de ingeniería interna de que el zapato se puede hacer con éxito, los datos de ingeniería y materiales se pasan al departamento de manufactura para determinar la mejor manera de fabricar los zapatos en grandes cantidades. En este punto, Deckers coloca una "compra" estacional con sus proveedores.

Las órdenes para cada SKU se alimentan en los programas de manufactura en las fábricas chinas. Todos los SKU para una marca determinada se hacen en la misma fábrica. Mientras que los agentes de Deckers negocian los contratos de materias primas de manera temprana en el proceso de desarrollo, las fábricas solo colocan órdenes de materias primas cuando la compañía envía las órdenes reales para productos terminados. No se produce un solo zapato en las fábricas sino hasta que se reciben las órdenes.

En las fábricas, los bienes terminados se inspeccionan y empacan para el largo viaje de un mes en el océano desde Hong Kong hasta los puertos en Estados Unidos. Deckers envía 50 contenedores a la semana desde sus fuentes de manufactura; cada uno contiene aproximadamente 5,000 pares de zapatos. La propiedad de los bienes terminados se transfiere de las fábricas a Deckers en Hong Kong.

Cuando los contenedores enviados llegan a Estados Unidos, el calzado se transfiere a los centros de distribución de Deckers en el sur de California. Los productos Teva se almacenan en Ventura, California; los otros productos se manejan en la instalación con la última tecnología de la compañía en Camarillo, California. En general, Deckers trae el producto a los centros de distribución dos o tres meses antes de las necesidades esperadas para que la producción en las fábricas de los proveedores y las actividades de la mano de obra en estos centros se nivelen. Definitivamente existen picos en la demanda de calzado, donde Teva tiene una demanda alta en el trimestre uno y UGG en el trimestre cuatro. El enfoque de nivelar funciona para mantener los costos bajos en la cadena de suministro; pero también significa que Deckers debe mantener inventarios altos. La mayor parte de los envíos de los proveedores llegan a los centros de distribución y se almacenan en inventario durante uno o dos meses esperando una orden del cliente. Para el momento en que el calzado se guarda en el centro de distribución, la compañía sabe qué clientes minoristas comprarán los diferentes productos, con base en las órdenes colocadas meses antes. Entonces, de acuerdo con los programas de entrega negociados con los clientes, la compañía comienza a llenar órdenes y enviar productos a las tiendas. El almacén rastrea los envíos que llegan, los bienes colocados en los anaqueles para los clientes y las órdenes que salen. El sistema de inventarios ayuda a administrar el proceso de llenado de órdenes de clientes.

Debido a que las órdenes colocadas son proporciones relativamente grandes en relación al total de órdenes de los minoristas y el número de órdenes no anticipadas es muy pequeño, solo se necesitan inventarios de seguridad pequeños para dar servicio a los minoristas. En ocasiones, la orden de compra de Deckers para uno de sus proveedores corresponde a las órdenes de venta de sus clientes. En tal caso, Deckers utiliza un sistema de cruce de andén. Cuando se recibe el envío en el centro de distribución, se verifica de inmediato y se carga en otro camión para entregarlo al cliente. El cruce de andén reduce la necesidad de guardar grandes cantidades de producto por largo tiempo y disminuye los gastos de almacén para Deckers. La compañía ha tenido éxito en rotar su inventario cerca de cuatro veces al año, de acuerdo con el estándar de la industria del calzado.

Todas las ventas en línea se manejan centralmente. De hecho, para fines de administrar las órdenes y el inventario, el lado electrónico del negocio se maneja igual que otra tienda minorista importante. Como los pronósticos de las órdenes estacionales los genera cada equipo de ventas por marca, el equipo de ventas de comercio electrónico coloca una orden de manufactura para el negocio en línea al mismo tiempo. Sin embargo, a diferencia de los puntos de venta que toman las entregas de productos de manera regular, el inventario dedicado al negocio en línea se queda en el centro de distribución hasta que se recibe una orden por el sitio web. Solo entonces se hace un envío directo al consumidor que colocó la orden en línea. Si la demanda real excede la demanda esperada, Char Nicanor-Kimball verifica si hay más inventario que pueda utilizarse de otras órdenes de clientes que fueron menores.

Los retos de pronósticos y administración de la cadena de suministro que ahora enfrenta Deckers son dobles. Primero, la compañía planea que crezcan las marcas que tienen ventas estacionales para que tengan opciones de calzado durante todo el año aumentando el número de SKU para esas marcas. Por ejemplo, la mayoría de las ventas para el calzado UGG ocurren en la temporada de otoño/invierno. Históricamente, las ventas de Teva han sido en primavera y verano. Los administradores de producto ahora trabajan para desarrollar estilos que permitan a las marcas cruzar las estaciones. Segundo, la compañía planea una expansión internacional y tendrá tiendas en Europa, China y otros lugares de Asia en el futuro cercano. Los administradores de la compañía están

conscientes de los retos y oportunidades que traerá este crecimiento global y ahora dan pasos para asegurar que toda la cadena de suministro esté preparada para pronosticar y manejar la demanda cuando llegue el momento.

PREGUNTAS

1. ¿Qué tanta correspondencia hay entre el proceso de pronósticos de Deckers y el "proceso de pronósticos típico" descrito al final de este capítulo?
2. Con base en lo que ve en el video, ¿qué tipos de información tecnológica se utilizan para pronosticar, mantener registros de inventario precisos y proyectar niveles de inventario futuros?
3. ¿Qué factores hacen que pronosticar en Deckers sea particularmente un desafío? ¿Cómo pueden obtenerse pronósticos para productos estacionales o de moda para los que no hay un archivo histórico? ¿Cuáles son los costos de pronosticar mayor demanda que la real para esos productos? ¿Y los de menos demanda que la real?
4. ¿Cómo se pondría en marcha el concepto de aplazamiento en Deckers si se tienen ventas en línea y posiciones de inventario en los centros de distribución para cada modelo, color y tamaño?
5. ¿En qué parte de la cadena de suministro se están creando inventarios de ciclo, en tránsito, de seguridad y anticipados?
6. ¿Cuáles son los beneficios de nivelar la demanda agregada teniendo un portafolio de SKU que crea una demanda de 365 días?
7. Deckers planea una expansión internacional, con lo que aumentará el volumen de zapatos que debe manejar en la cadena de suministro y el patrón de flujos de materiales. ¿Qué implicaciones tiene esta estrategia sobre los pronósticos, cantidades a ordenar, logística y relaciones con los proveedores y los clientes?

CASO Yankee Fork and Hoe Company

La Yanke Fork and Hoe Company es un productor líder de herramientas para jardín que va de carretillas y cubos de mortero a palas, rastrillos y allanadoras. Las herramientas se venden en cuatro líneas de productos que van de los productos Hércules de alta calidad, que son herramientas robustas para trabajos pesados a los productos Garden Helper, que son herramientas económicas para el usuario ocasional. El mercado de herramientas de jardín es en extremo competitivo debido al diseño sencillo de los productos y al gran número de fabricantes competidores. Además, más personas están usando herramientas eléctricas, como las bordeadoras de césped, cortadoras de setos y las sierras, lo que reduce la demanda para sus contrapartes manuales. Estos factores obligan a Yankee a mantener precios bajos al tiempo que conserva su alta calidad y entrega confiable.

Las herramientas de jardín representan una industria madura. A menos que se puedan desarrollar nuevos productos manuales o suceda un resurgimiento repentino en la jardinería de las casas, los prospectos para grandes incrementos en ventas no son grandes. Mantenerse adelante de la competencia es una batalla constante, nadie sabe esto mejor que Alan Roberts, presidente de Yankee.

Los tipos de herramientas vendidas en estos días son, por mucho, los mismos que se vendían hace 30 años. La única manera de generar nuevas ventas y retener a los clientes es proporcionar un servicio superior y fabricar productos con alto valor para el cliente. Este enfoque pone presión sobre el sistema de fabricación que ha tenido dificultades últimamente. Roberts ha estado recibiendo llamadas de clientes de mucho tiempo, como Sears y True Value Hardware Stores, con quejas por retraso en las entregas. Estos clientes anuncian promociones para las herramientas de jardín y requieren entregas a tiempo.

Roberts sabe que perder clientes como Sears y True Value sería desastroso. Decide pedir al consultor Sharon Place que vea el asunto y le reporte en una semana. Roberts sugiere que se enfoque en el rastrillo de arco como un buen ejemplo, porque es un producto de alto volumen y ha sido una fuente importante de las quejas de los clientes.

Planeación de la producción del rastrillo de arco

Un rastrillo de arco consiste en una cabeza de 12 dientes espaciados por una pulgada, un mango de madera dura, un arco que fija la cabeza al mango y una férula de metal que refuerza el área en donde se inserta el arco en el mango. El arco es una tira de metal que se suelda a las terminales de la cabeza del rastrillo y se dobla por el centro para formar una lengüeta plana para insertar el mango. El rastrillo tiene aproximadamente 64 pulgadas de largo.

Place decide averiguar cómo se planea la producción del rastrillo en Yankee. Va directamente con Phil Stanton, que le da la siguiente reseña:

> La planeación es informal aquí. Para comenzar, marketing determina el pronóstico para los rastrillos de arco por mes para el siguiente año. Luego me llega el pronóstico. Francamente esos pronósticos casi siempre están inflados; deben ser sus grandes egos. Debo ser cuidadoso porque tenemos acuerdos de compras a largo plazo para el acero y mantenerlo almacenado ahí es costoso. Entonces, casi siempre reduzco el pronóstico 10%, más o menos. Utilizo el pronóstico modificado para generar un programa de ensamblaje mensual, que determina lo que necesito de las áreas de forja y trabajo de madera. El sistema funciona bien si los pronósticos son buenos, pero cuando marketing viene y me dice que están atrasados en las órdenes de los clientes, como con frecuencia les sucede hacia el final del año, causan estragos en la programación. Forja es el que queda en peores condiciones. Por ejemplo, las prensas que estampan las cabezas del rastrillo a partir de hojas de acero pueden manejar solo 7,000 cabezas por día y la máquina de laminado del arco puede hacer solo 5,000 por día. Ambas operaciones también se requieren para muchos otros productos.

Debido a que el departamento de marketing proporciona información crucial para Stanton, Place decide ver al administrador de esa área, Ron Adams. Él explica cómo llega a los pronósticos para el rastrillo de arco.

> Las cosas no cambian mucho de un año a otro. Por supuesto, algunas veces hacemos promociones de ventas de algún tipo, pero tratamos de advertir a Phil con suficiente tiempo antes de que llegue la demanda: usualmente un mes o algo así. Yo me reúno con varios gerentes de las diferentes regiones de ventas para revisar los datos de envíos del año anterior y discutimos las promociones anticipadas, los cambios en la economía y los faltantes experimentados el año anterior. Con base en estas reuniones, genero un pronóstico mensual para el siguiente año. Aunque no toma mucho tiempo obtener el pronóstico, nunca parece ayudarnos a evitar problemas con los clientes.

El problema

Place pondera los comentarios de Stanton y Adams. Entiende la preocupación de Stanton acerca de los costos y de mantener el inventario en un nivel bajo; también comprende las preocupaciones de Adams por tener suficientes rastrillos a la mano para lograr envíos oportunos. Ambos están preocupados de alguna manera por la capacidad. Aun así decide verificar la demanda real de los clientes para el rastrillo de arco durante los últimos cuatro años (véase la tabla 14.6) antes de entregar su informe a Roberts.

PREGUNTAS

1. Comente sobre el sistema de pronósticos que se usa en Yankee. Sugiera cambios o mejoras que crea que están justificados.
2. Desarrolle su propio pronóstico de rastrillos de arco para cada mes del siguiente año (el año cinco). Justifique su pronóstico y el método que utilizó.

TABLA 14.6 | CUATRO AÑOS DE DEMANDA HISTÓRICA PARA EL RASTRILLO DE ARCO

	DEMANDA			
Mes	**Año 1**	**Año 2**	**Año 3**	**Año 4**
1	55,220	39,875	32,180	62,377
2	57,350	64,128	38,600	66,501
3	15,445	47,653	25,020	31,404
4	27,776	43,050	51,300	36,504
5	21,408	39,359	31,790	16,888
6	17,118	10,317	32,100	18,909
7	18,028	45,194	59,832	35,500
8	19,883	46,530	30,740	51,250
9	15,796	22,105	47,800	34,443
10	53,665	41,350	73,890	68,088
11	83,269	46,024	60,202	68,175
12	72,991	41,856	55,200	61,100

Nota: Las cifras de demanda mostradas en la tabla son el número de unidades prometidas para entrega cada mes. Las cantidades de las entregas reales difieren debido a la capacidad o a faltantes de materiales.

APRENDIZAJE EXPERIENCIAL 14.1 Pronósticos con muestra de reserva

El archivo histórico de una compañía, como se muestra en la siguiente tabla, da las ventas mensuales en dólares "resumidos" en totales agregados para una de sus líneas de productos importantes.

Su equipo debe usar el Solver de *Pronósticos de series de tiempo* para obtener un pronóstico para el futuro. Observe que al oprimir el botón "Load EL1 Data" (cargar los datos EL1) ingresa de manera automática los datos de demanda. De otra manera, usted puede ingresarlos directamente en la hoja de cálculos. Busque qué modelos desea utilizar para hacer el pronóstico en clase de las ventas mensuales para los dos últimos meses del año ocho y varios meses del año nueve. Quizá desee conocer todos los pronósticos o enfocarse en solo dos o tres de ellos. Si uno de los modelos es el pronóstico combinado, debe decidir los pesos a asignar en los modelos que forman este pronóstico. Los pesos deben sumar 1.0.

Traiga a la clase un documento de una hoja que:

- Caracterice las ventas mensuales de la línea de productos en términos de su posibilidad de ser pronosticadas.
- Identifique la importancia relativa de cuatro patrones de demanda: *horizontal, de tendencia, estacional y cíclico.*
- Identifique los modelos de pronósticos que utilizará para obtener los pronósticos para el final del año ocho y los meses siguientes del año nueve, y el grado en el que los ajustes de juicio pueden utilizarse durante el ejercicio con muestra de reserva. Explique por qué hizo esta selección, debido a que DAM se usará como su medida de error.
- Contenga el pronóstico de noviembre del año 8.

Al inicio de la parte en clase del ejercicio experimental, entregue su documento de una página y abra el último archivo del Solver de *Pronósticos de series de tiempo* que utilizó en el modelado del archivo histórico. No cambie los parámetros finales elegidos para sus modelos de pronósticos utilizando el archivo histórico (*n* para promedios móviles, los pesos para el promedio móvil ponderado, α para la suavizamiento exponencial y los pesos para la combinación).

Para comenzar la sesión de muestra de reserva, dé clic en la pestaña de hoja de trabajo (Worksheet) y fije el tiempo en el que inicia el análisis de error como el periodo 95 (noviembre del año ocho). Al hacer esto, el análisis rastreará solo los periodos retenidos. Ahora dé clic en "Holdout Sample" (muestra de reserva) para comenzar la sesión. Inicialmente se presentan los pronósticos de noviembre para todas las técnicas usadas durante su análisis de archivo histórico (incluyendo el modelo combinado, si lo usó). Su siguiente paso es ingresar los pronósticos de su equipo para noviembre. Puede ser el pronóstico de cualquiera de los modelos mostrados o uno propio, si cree que los ajustes de juicio son apropiados. No cuenta con información contextual, pero logra observar que un modelo tiene un desempeño particularmente bueno en los últimos meses. Su equipo puede tener opiniones diferentes, pero podrían llegar a un consenso. Su instructor le proporcionará las ventas reales de noviembre de la muestra de reserva. Después de ingresar la información adicional, se calculan los errores de pronóstico para cada modelo y para el pronóstico de noviembre de su equipo. Además, los pronósticos de la computadora (ingenuo, promedios móviles, promedio móvil ponderado, suavizamiento exponencial, proyección de tendencia y combinación) se presentan para diciembre.

Inicie diciembre con el ingreso del pronóstico de su equipo. El instructor le proporcionará las ventas reales de diciembre, y así sucesivamente. Continúe este proceso hasta que se calculen todos los errores para el último periodo de la muestra de reserva que anunciará su instructor. Al final del ejercicio, cree un segundo documento de una página que informe sus pronósticos para la muestra de reserva, la DAM promedio correspondiente y la SAE, si modificó (y cómo) su proceso de pronósticos al avanzar el ejercicio y lo que aprendió con este ejercicio. Necesitará escribir una hoja de Excel para calcularlos estadísticos DAM y SEA para la muestra de reserva. Su salida puede ir adjunta al segundo documento de una página. Entregue su reporte a su instructor al final de la sesión de clase.

Su calificación en este ejercicio se basará en: **1.** la información proporcionada en los dos documentos (50% por calificación), **2.** la DAM promedio del archivo histórico (25% de la calificación) y **3.** la DAM promedio de la muestra de reserva (25% de la calificación).

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
1	3,255	3,420	3,482	3,740	3,713	3,785	3,817	3,900	3,878	3,949	4,004	4,035
2	3,892	3,730	4,115	4,054	4,184	4,321	4,307	4,481	4,411	4,443	4,395	4,403
3	4,507	4,400	4,099	4,064	4,002	3,963	4,037	4,162	4,312	4,395	4,540	4,471
4	4,589	4,688	4,566	4,485	4,385	4,377	4,309	4,276	4,280	4,144	4,219	4,052
5	4,084	4,158	4,174	4,225	4,324	4,220	4,267	4,187	4,239	4,352	4,331	4,371
6	4,535	4,477	4,601	4,648	4,860	4,998	5,003	4,960	4,943	5,052	5,107	5,100
7	5,303	5,550	5,348	5,391	5,519	5,602	5,557	5,608	5,663	5,497	5,719	5,679
8	5,688	5,604	5,703	5,899	5,816	5,745	5,921	5,900	5,911	5,987		

Fuentes: Este ejercicio experimental se adaptó de un ejercicio para la clase preparado por el doctor Richard J. Penlesky, de Carroll University, como base para la discusión en clase. Impreso con permiso del Dr. Richard J. Penlesky.

APRENDIZAJE EXPERIENCIAL 14.2 Pronóstico de un estadístico de energía vital

Los siguientes datos de series de tiempo captan el promedio semanal de las importaciones de crudo de la Costa Este en miles de barriles por día.

TRIMESTRE 2 2010		TRIMESTRE 3 2010		TRIMESTRE 4 2010		TRIMESTRE 1 2011	
Periodo	Datos	Periodo	Datos	Periodo	Datos	Periodo	Datos
Abr. 02, 2010	1,160	Jul. 02, 2010	1,116	Oct. 01, 2010	1,073	Dic. 31, 2010	994
Abr. 09, 2010	779	Jul. 09, 2010	1,328	Oct. 08, 2010	857	Ene. 07, 2011	1,307
Abr. 16, 2010	1,134	Jul. 16, 2010	1,183	Oct. 15, 2010	1,197	Ene. 14, 2011	997
Abr. 23, 2010	1,275	Jul. 23, 2010	1,219	Oct. 22, 2010	718	Ene. 21, 2011	1,082
Abr. 30, 2010	1,355	Jul. 30, 2010	1,132	Oct. 29, 2010	817	Ene. 28, 2011	887
May. 07, 2010	1,513	Ago. 06, 2010	1,094	Nov. 05, 2010	946	Feb. 04, 2011	1,067
May. 14, 2010	1,394	Ago. 13, 2010	1,040	Nov. 12, 2010	725	Feb. 11, 2011	890
May. 21, 2010	1,097	Ago. 20, 2010	1,053	Nov. 19, 2010	748	Feb. 18, 2011	865
May. 28, 2010	1,206	Ago. 27, 2010	1,232	Nov. 26, 2010	1,031	Feb. 25, 2011	858
Jun. 04, 2010	1,264	Sep. 03, 2010	1,073	Dic. 03, 2010	1,061	Mar. 04, 2011	814
Jun. 11, 2010	1,153	Sep. 10, 2010	1,329	Dic. 10, 2010	1,074	Mar. 11, 2011	871
Jun. 18, 2010	1,424	Sep. 17, 2010	1,096	Dic. 17, 2010	941	Mar. 18, 2011	1,255
Jun. 25, 2010	1,274	Sep. 24, 2010	1,125	Dic. 24, 2010	994	Mar. 25, 2011	980

Su instructor tiene la muestra de reserva que representa los valores para el 1 de abril, 2011 y más adelante. Su tarea es utilizar el módulo de *Pronósticos de series de tiempo* de POM para Windows y el archivo histórico para proyectar esta estadística al futuro. Si tiene MyOMLab, los datos de demanda están disponibles en el ejercicio dos del archivo de Excel. Puede copiar y pegar en la tabla de datos del módulo de *pronósticos de series de tiempo*. De otra manera, puede ingresar los datos de demanda directamente en la tabla de datos. Antes de su siguiente reunión en clase:

a) Utilice el módulo de *pronósticos de series de tiempo* de POM para Windows para localizar el mejor modelo: ingenuo, promedio móvil, promedio móvil ponderado y proyección de tendencia con regresión que piense que pronosticará con más precisión la demanda durante la muestra de reserva. *Comience sus cálculos del error en el periodo 5 (abril 30, 2010).*

b) Cree una hoja de Excel que comience con las entradas de los cuatro pronósticos del módulo de *series de tiempo*. Su propósito es desarrollar un pronóstico combinado que sirva como pronóstico de su equipo para cada periodo. Asigne un peso a cada modelo de pronósticos (la suma de los cuatro pesos para un periodo debe ser igual a 1.0) y desarrolle un "pronóstico combinado" multiplicando cada pronóstico por su peso. Mantenga los pesos constantes para todo el archivo histórico conforme busque el mejor conjunto de pesos. Si no le gusta un modelo en particular, dele un peso de 0. Calcule las medidas de error de pronóstico apropiadas para su combinación en la hoja de Excel que creó.

c) Desarrolle un informe administrativo que muestre sus pronósticos periodo por periodo y su desempeño SAE y EPAM global histórico para cada modelo y su pronóstico combinado.

Ejercicio de clase, parte 1

a) Ingrese en su hoja de Excel los pronósticos del módulo de *Pronósticos de series de tiempo* de POM para Windows, con el fin de obtener el pronóstico combinado para el primer periodo (la semana del 1 de abril, 2011) de la muestra de reserva. El pronóstico combinado se considera el pronóstico de su equipo.

b) Ingrese los datos reales proporcionados por su instructor y calcule en Excel las medidas de error de pronóstico apropiadas para sus cuatro modelos y el pronóstico combinado. Decida cualesquiera revisiones de los pesos para el pronóstico combinado.

c) Actualice el módulo de *Pronósticos de series de tiempo* de POM para Windows con la demanda real para el nuevo periodo y obtenga nuevos pronósticos.

Ejercicio en clase, parte 2

a) Ingrese los pronósticos del módulo de *Pronósticos de series de tiempo* de POM para Windows en su hoja de Excel para obtener el pronóstico combinado final para el siguiente periodo (semana del 8 de abril, 2011). En este punto, puede cambiar los pesos para este periodo en cada técnica de pronósticos que forma la combinación. No tiene información contextual, pero observa que un modelo tiene un desempeño particularmente bueno en los últimos periodos. Su equipo puede tener opiniones diferentes, pero deben llegar a un consenso.

b) Ingrese los datos reales proporcionados por su instructor; calcule en Excel las medidas del error de pronóstico apropiadas para sus cuatro modelos y el pronóstico combinado.

c) Actualice el módulo de *Pronósticos de series de tiempo* de POM para Windows con las demanda real para el nuevo periodo y obtenga nuevos pronósticos.

Ejercicio en clase, parte 3 y más allá

Continúe de la misma manera que en las partes 1 y 2 para producir pronósticos según los que indique su instructor. Al final del ejercicio, desarrolle un segundo informe administrativo que presente sus pronósticos para cada periodo de la muestra de reserva, los errores de pronóstico individuales y las desviaciones porcentuales para cada modelo y su pronóstico combinado. Explique su lógica respecto a los cambios hechos a pesos de su pronóstico combinado en el periodo de retención.

Fuente: Este ejercicio experimental fue preparado como un ejercicio en la clase por el doctor John Jensen, de University of South Carolina, como base para discusión en clase. Impreso con permiso de John B. Jensen.

Referencias seleccionadas

Armstrong, J. Scott. "Findings from Evidence-based Forecasting: Methods for Reducing Forecast Error". *International Journal of Forecasting*, vol. 22, núm. 3 (2006), pp. 583-598.

Attaran, Mohsen y Sharmin Attaran. "Collaborative Supply Chain Management". *Business Process Management Journal*, vol. 13, núm. 13 (junio, 2007), pp. 390-404.

Cederlund, Jerold P., Rajiv Kohli, Susan A. Sherer y Yuliang Yao. "How Motorola Put CPFR into Action". *Supply Chain Management Review* (octubre, 2007), pp. 28-35.

Daugherty, Patricia J., R. Glenn Richey, Anthony S. Roath, Soonhong Min, Haozhe Chen, Aaron D. Arndt y Stefan E. Genchev. "Is Collaboration Paying Off for Firms?" *Business Horizons* (2006), pp. 61-70.

Fildes, Robert, Paul Goodwin, Michael Lawrence y Konstantinos Nikolopoulos. "Effective Forecasting and Judgmental Adjustments: An Empirical Evaluation and Strategies for Improvement in Supply-Chain Planning". *International Journal of Forecasting*, vol. 25, núm. 1 (2009), pp. 3-23.

Lawrence, Michael, Paul Goodwin, Marcus O'Connor y Dilek Onkal. "Judgmental Forecasting: A Review of Progress over the Last 25 Years". *International Journal of Forecasting* (junio, 2006), pp. 493-518.

McCarthy, Teresa, Donna F. Davis, Susan L. Golicic y John T. Mentzer. "The Evolution of Sales Forecasting Management: A 20-Year Longitudinal Study of Forecasting Practices". *Journal of Forecasting*, vol. 25 (2006), pp. 303-324.

Min, Hokey y Wen-Bin Vincent Yu. "Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment: Demand Planning in Supply Chain Management". *International Journal of Information Technology and Management*, vol. 7, núm. 1 (2008), pp. 4-20.

Montgomery, David. "Flashpoints for Changing Your Forecasting Process". *The Journal of Business Forecasting* (invierno, 2006-2007), pp. 35-42.

Principles of Forecasting: A Handbook for Researchers and Practitioners. J. Scott Armstrong (ed.). Norwell, MA: Kluwer Academic Publishers, 2001. También visite **http://www.forecastingprinciples.com** que contiene información valiosa de pronósticos, incluyendo una sección de preguntas frecuentes, un árbol de metodologías de pronósticos y un diccionario.

Saffo, Paul. "Six Rules for Effective Forecasting". *Harvard Business Review* (julio-agosto, 2007), pp. 1-30.

Smaros, Johanna. "Forecasting Collaboration in the European Grocery Sector: Observations from a Case Study". *Journal of Operations Management*, vol. 25, núm. 3 (abril, 2007), pp. 702-716.

Smith, Larry. "West Marine: A CPFR Success Story". *Supply Chain Management Review* (marzo, 2006), pp. 29-36.

Syntetos, Aris Konstantinos Nikolopoulos, John Boylan, Robert Fildes y Paul Goodwin. "The Effects of Integrating Management Judgement into Intermittent Demand Forecasts". *International Journal of Production Economics*, vol. 118, núm. 1 (marzo, 2009), pp. 72-81.

Wikipedia, "Collaborative Planning, Forecasting, and Replenishment", http:en.wikipedia.org/wiki/Collaborative Planning Forecasting and Replenishment (abril, 2011).

Tupungato/Shutterstock

15

PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LAS OPERACIONES

La planeación y programación de operaciones en una aerolínea como Air New Zealand pasa por varias etapas para que la oferta corresponda a la demanda, desde planes agregados hasta itinerarios a corto plazo. Incluso, cuando los vuelos terminan y la tripulación verifica itinerarios, condiciones severas del clima o fallas mecánicas pueden ocasionar cambios de último minuto. La fortaleza competitiva a largo plazo depende del buen desempeño de este proceso.

Air New Zealand

¿Qué tan importante es la programación para una línea aérea? Sin duda la satisfacción del cliente en cuanto al desempeño de llegar a tiempo es crucial en una industria altamente competitiva como el transporte aéreo. Además, las líneas aéreas pierden mucho dinero cuando equipo tan costoso, como un avión, está ocioso. Sin embargo, la programación de vuelos y tripulaciones es un proceso complejo. Por ejemplo, Air New Zealand es un grupo de cinco aerolíneas con una flota combinada de 96 aviones, con una orden de otros 22. La utilización promedio es 8:44 horas por día. Ha realizado una actualización de $800 millones en su servicio de vuelos largos, en la que reparó su flota de Boeing 747 y agregó ocho aviones nuevos Boeing 777-200 para vuelos a Norteamérica. Da servicio directo a 50 puertos, 26 nacionales y 24 internacionales en 15 países. Traslada 11.7 millones de pasajeros cada año y su red incorpora tiempos de vuelo de entre 15 minutos y 13 horas. La planeación y programación de operaciones a nivel agregado comienza con un plan de mercado que identifica los nuevos segmentos de vuelo necesarios para permanecer competitivo. El plan general se ajusta a un plan de tres años y luego se incorpora en un presupuesto anual en el que los segmentos de vuelo tienen tiempos específicos de salidas y llegadas.

Después, la disponibilidad de las tripulaciones debe corresponder a los itinerarios de vuelos. Cada uno de los dos tipos de tripulación —pilotos y sobrecargos— tiene su propio conjunto de restricciones. Por ejemplo, los pilotos no pueden programarse para más de 35 horas de vuelo en una semana de siete días y no más de 100 horas en un ciclo de 28 días. También deben tener un descanso de 36 horas cada siete días y 30 días de descanso en un ciclo de 84 días. El periodo de servicio de cada piloto comienza y termina en una base

de tripulación que consiste en una secuencia alternada de periodos de servicio y descanso, donde los periodos de trabajo incluyen uno o más vuelos. La programación debe asegurar que cada vuelo tenga una tripulación calificada y que cada miembro de la tripulación tenga un turno factible en el periodo asignado. Desde el punto de vista de la tripulación, también es importante satisfacer tantas peticiones y preferencias de las tripulaciones como sea posible.

Fuente: "Service Scheduling at Air New Zealand", *Operations Management 10e Video Library* (Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2010); **www.airnewzealand.com** (agosto, 2011). Véase el video en MyOMLab.

METAS DE APRENDIZAJE *Después de estudiar este capítulo, usted será capaz de:*

1. Describir el proceso de planeación y programación de operaciones.
2. Explicar por qué el proceso de correspondencia entre la oferta y la demanda comienza a nivel agregado.
3. Identificar las diferentes opciones de demanda y oferta.
4. Explicar la relación entre los planes y programas de las operaciones con otros planes.
5. Utilizar hojas de cálculo para crear los planes de ventas y operaciones.
6. Desarrollar la programación de empleados.
7. Desarrollar programas para estaciones de trabajo individuales.

Creación de valor mediante la administración de operaciones

Utilización de las operaciones para competir
Administración de proyectos

Administración de procesos

Estrategia de procesos
Análisis de procesos
Calidad y desempeño
Planeación de capacidad
Administración de restricciones
Sistemas esbeltos

Administración de la cadena de suministro

Administración del inventario de la cadena de suministro
Diseño de la cadena de suministro
Decisiones de localización de la cadena de suministro
Integración de la cadena de suministro
Sustentabilidad de la cadena de suministro y logística humanitaria
Pronósticos
Planeación y programación de las operaciones
Planeación de recursos

La administración de la cadena de suministro, de hecho, requiere más que buenos pronósticos de demanda. La demanda es la primera mitad de la ecuación y la otra mitad es la oferta. La empresa debe desarrollar planes para abastecer los recursos necesarios que permitan satisfacer la demanda pronosticada. Estos recursos incluyen fuerza de trabajo, materiales, inventarios, dinero y capacidad del equipo.

La **planeación y programación de las operaciones** es el proceso de asegurar que los planes de demanda y oferta estén equilibrados, desde el nivel agregado hasta el de programación a corto plazo. Como vimos con Air New Zealand, el proceso comienza en el nivel agregado y progresivamente es más específico hasta que los miembros del equipo conocen su turno de servicio. La planeación y programación de las operaciones se encuentra en el corazón de la integración de la cadena de suministro, alrededor de la cual se hacen los planes arriba y abajo de la cadena de suministro, desde las entregas del proveedor hasta las fechas de entrega al cliente. La tabla 15.1 define varios tipos de planes relacionados con la planeación y programación de operaciones.

En este capítulo, nos centramos en las dos partes importantes del proceso global: **1.** ventas y planeación de operaciones y **2.** programación. Comenzamos con los propósitos de agregar la planeación de ventas y operaciones. Examinamos la relación del plan de ventas y operaciones (PVyO) con otros planes y áreas funcionales dentro de la empresa. Describimos un proceso de planeación típico y varias estrategias para manejar una demanda irregular. Mostramos la utilidad de las hojas de cálculo como ayuda para encontrar buenas soluciones. Concluimos con la programación, que incluye medidas de desempeño y algunas técnicas básicas para crear la programación. El suplemento J, "Programación de operaciones", en MyOMLab, proporciona ayuda adicional con los problemas de programación.

Planeación y programación de operaciones en toda la organización

La planeación y programación de operaciones es significativa para cada organización en la cadena de suministro. Primero, requiere datos de las administraciones de todas las funciones de la empresa. Marketing proporciona información de la demanda y contabilidad proporciona datos importantes de costos y la condición financiera de la empresa. Segundo, el plan afecta a cada función. Un plan que exige una expansión de la fuerza de trabajo tiene un impacto directo en los requerimientos de contratación y capacitación de la función de recursos humanos. Conforme el plan se pone en marcha, crea flujos de ingreso y costo que finanzas debe manejar como los flujos de efectivo. Tercero, cada departamento y grupo en la empresa tiene su propia fuerza de trabajo. Los administradores de esos departamentos deben elegir entre las opciones de contratación, tiempo extra y vacaciones.

La programación es importante tanto para los procesos de servicio como los de manufactura. Sea el negocio una aerolínea, un hotel, un fabricante de computadoras o una universidad, la programación es parte de la vida diaria. Los programas incluyen una enorme cantidad de detalles y afectan todos los procesos de una empresa. Por ejemplo, los programas de servicios, productos y empleados determinan los requerimientos específicos de flujos de efectivo, inician los procesos de facturación y dan principio a los requerimientos para los procesos de capacitación de empleados.

TABLA 15.1 | TIPOS DE PLANES CON PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LAS OPERACIONES

Término clave	Definición
Plan de ventas y operaciones (PVyO)	Un plan a futuro con recursos nivelados para que la oferta esté equilibrada con la demanda. Establece las tasas de producción, los niveles de fuerza de trabajo y los niveles de inventario que son congruentes con los pronósticos de demanda y las restricciones de capacidad. El PVyO se establece por etapas en el tiempo, lo que significa que se proyecta para varios periodos (meses o trimestres) futuros.
Plan agregado	Otro término para el plan de ventas y operaciones.
Plan de producción	Un plan de ventas y operaciones para una *empresa de manufactura* que se centra en tasas de producción y niveles de inventarios.
Plan de personal	Un plan de ventas y operaciones para una *empresa de servicio*, centrado en el personal y otros factores de recursos humanos.
Plan de recursos	Un paso intermedio en el proceso de planeación que se encuentra entre el PVyO y la programación. Determina los requerimientos para materiales y otros recursos en un nivel más detallado que el PVyO. Se cubre en el siguiente capítulo.
Programación	Un plan detallado que asigna recursos en horizontes de tiempo cortos para lograr tareas específicas.

La empresa utiliza el proceso de programación para reducir costos y mejorar la capacidad de respuesta que afecta a las operaciones arriba y abajo de la cadena de suministro en todo el mundo.

Etapas en la planeación y programación de operaciones

En esta sección explicamos por qué las compañías comienzan con planes que contienen un panorama macro o grande de su negocio. También describimos cómo se relacionan estos planes con otros y, al final, cómo se traducen los planes a largo plazo en una programación detallada lista para la acción inmediata.

planeación y programación de las operaciones
Proceso de equilibrar la oferta con la demanda, desde el nivel agregado hacia abajo hasta el nivel de programación a corto plazo.

Agregación

El plan de ventas y operaciones es útil porque se enfoca en un curso de acción general, congruente con los objetivos y metas de la compañía, sin estancarse en detalles. Primero debemos agregar y después utilizamos las metas y los recursos del plan para crear programas coordinados y efectivos. Los administradores de la compañía deben determinar si pueden satisfacer las metas presupuestales sin tener que programar cada uno de los miles de productos y empleados de la compañía en forma individual. Mientras que los programas con ese detalle son la meta, el proceso de planeación y programación de operaciones comienza a nivel agregado.

En general, las compañías realizan la agregación en tres dimensiones: **1.** servicios o productos, **2.** fuerza de trabajo y **3.** tiempo.

Familias de productos Los grupos de clientes, servicios o productos que tienen requerimientos de demanda similares y requerimientos comunes de procesos, fuerza de trabajo y materiales se llaman **familia de productos**. Algunas veces, las familias de productos se relacionan con los grupos de mercado o con procesos específicos. Una empresa puede agregar sus servicios o productos en un conjunto de familias relativamente amplio, evitando demasiado detalle en esta etapa del proceso de planeación. Por ejemplo, un fabricante de bicicletas que produce 12 modelos diferentes puede dividirlos en dos grupos, bicicletas de montaña y bicicletas de pista, con el fin de preparar el plan de ventas y operaciones. Deben utilizarse medidas comunes y relevantes.

familia de productos
Grupo de servicios o productos con requerimientos de demanda similares y requerimientos de procesos, mano de obra y materiales comunes.

Fuerza de trabajo Una compañía también puede agregar su fuerza de trabajo de varias maneras, dependiendo de su flexibilidad. Por ejemplo, si los trabajadores en la fábrica de bicicletas están capacitados para trabajar en cualquiera de las bicicletas, de montaña o de pista, con fines de planeación la administración puede considerar su fuerza de trabajo como un solo grupo agregado, aun cuando las habilidades de los trabajadores difieran.

Tiempo El horizonte de planeación cubierto por un plan de ventas y operaciones suele ser un año, aunque difiera para algunas situaciones. Para evitar el gasto y el efecto de desorganización por cambios frecuentes en las tasas de salida y la fuerza de trabajo, es común hacer ajustes mensuales o trimestrales. En otras palabras, la compañía ve el tiempo en términos agregados, como meses, trimestres o estaciones, en lugar de en semanas, días u horas.

Relación de los planes y programas de las operaciones con otros planes

Una evaluación financiera del futuro cercano de la organización, es decir, para uno o dos años en el futuro, se llama un plan de negocios (en empresas lucrativas), o bien, un plan anual (en organizaciones de servicios no lucrativas). Un **plan de negocios** es una declaración de los ingresos, costos y ganancias proyectados. Suele ir acompañado de presupuestos, un estado (pro forma) de resultados

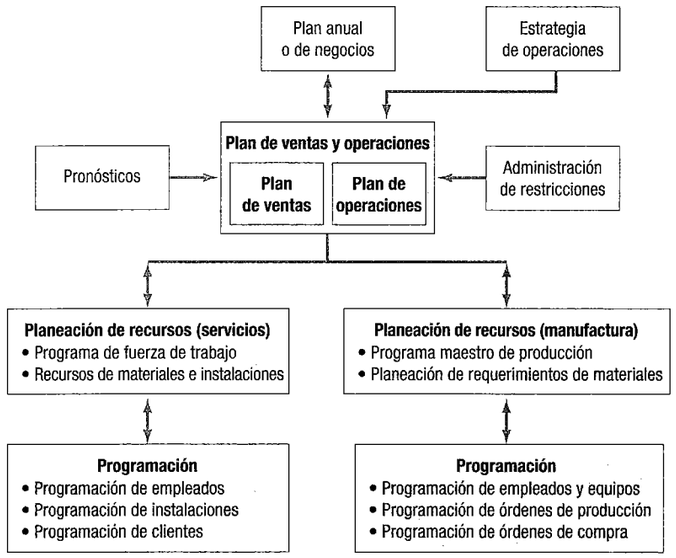
plan de negocios
Estado de ingresos, costos y ganancias proyectados.

proyectados y una declaración de los flujos de efectivo, que muestra las fuentes y asignaciones de fondos. El plan de negocios unifica los planes y las expectativas de los administradores de operaciones, finanzas, ventas y marketing de la empresa. En particular, refleja los planes de penetración de mercado, la introducción de nuevos productos y las inversiones de capital. Las empresas de manufactura y las organizaciones de servicios lucrativas, como tiendas, despachos de abogados o un hospital preparan estos planes. Una organización de servicios no lucrativa, como United Way o un gobierno municipal, prepara un tipo diferente de plan para la evaluación financiera, llamada **plan anual o plan financiero**.

plan anual o plan financiero
Plan para la evaluación financiera que utilizan las organizaciones de servicio no lucrativas.

La figura 15.1 ilustra las relaciones entre el plan de negocios o anual, el plan de ventas y operaciones y los planes y programas detallados derivados de ellos. Para los **proveedores de servicios** en la cadena de suministro, la alta administración establece la dirección y los objetivos de la organización en el plan de negocios (en una organización lucrativa) o el plan anual (en una organización no lucrativa). Este plan proporciona el marco de trabajo para desarrollar el plan de ventas y operaciones, que por lo general se enfoca en el personal y otros factores relacionados con recursos humanos a un nivel más agregado. Presenta el número y tipo de empleados necesarios para cumplir los objetivos de negocios o del plan anual.

FIGURA 15.1 ▶
Relación de los planes y programas de ventas y operaciones con otros planes



Con base en el plan de ventas y operaciones para el proveedor de servicios, el siguiente nivel de planeación es la *planeación de recursos* para determinar los programas de la fuerza de trabajo y otros requerimientos de recursos como materiales e instalaciones, en un nivel más detallado. El *programa de la fuerza de trabajo* detalla el trabajo específico programado para cada categoría de empleados. Por ejemplo, un plan de ventas y operaciones puede asignar a 10 oficiales de policía en el turno de día en un distrito determinado; el programa de la fuerza de trabajo quizá asigne cinco de ellos para trabajar de lunes a viernes y a los otros cinco de miércoles a domingo para cumplir las necesidades variables diarias de protección policial en el distrito. El nivel de planeación más bajo es la programación, que realiza el arreglo de los programas diarios para los empleados y clientes individuales.

Para las **empresas de manufactura** en la cadena de suministro, la alta administración establece los objetivos estratégicos de la compañía, por lo menos para el siguiente año en el plan de negocios. Proporciona el marco de trabajo completo y las entradas que provienen de la estrategia de operaciones, los pronósticos y la administración de restricciones de capacidad. El plan de ventas y operaciones especifica las tasas de producción, los niveles de inventario y los niveles de fuerza de trabajo para las familias de productos. El siguiente nivel de planeación hacia abajo del plan de ventas y operaciones es la planeación de recursos, que se cubre en el capítulo siguiente. La planeación de recursos es tan específica como los productos individuales dentro de cada familia de productos, los materiales comprados y los recursos a nivel detallado. El *programa maestro de producción* especifica el tiempo y tamaño de las cantidades de producción para cada producto en las familias. El proceso de *planeación de requerimientos de materiales* deriva los planes para componentes, materiales comprados y estaciones de trabajo. Al igual que los proveedores de servicio, el nivel de planeación más bajo y detallado es la programación. Reúne día a día programas y prioridades para empleados, equipo y órdenes de producción o de compra. Así, el plan de ventas y operaciones tiene un papel importante al traducir las estrategias del plan de negocios en un plan operacional para el proceso de manufactura.

Como indican las flechas en la figura 15.1, la información fluye en dos direcciones: de la alta administración hacia abajo (de amplia a detallada) y de abajo hacia a arriba (de detallada a amplia). Si no se puede desarrollar un plan de ventas y operaciones que satisfaga los objetivos del negocio o un plan anual con los recursos existentes, el negocio o el plan anual necesitan cierto ajuste. De igual manera, si no se puede desarrollar un programa maestro de producción o un programa para la fuerza de trabajo, el plan de ventas y operaciones debe ajustarse. El proceso de planeación es dinámico, con revisiones periódicas o ajustes basados en los flujos de información en dos sentidos, casi siempre cada mes.

Administración de la demanda

Equilibrar la oferta con la demanda se convierte en un reto cuando los pronósticos indican patrones de demanda irregulares y la demanda irregular es más la regla que la excepción. Los cambios en la demanda pueden ocurrir de un mes a otro, de una semana a otra o incluso de una hora a la siguiente. Los picos y valles en la demanda son costosos o pueden ocasionar un mal servicio al cliente. Air New Zealand puede perder ventas porque la capacidad en uno de sus vuelos está excedida, mientras que otro al mismo destino casi a la misma hora tiene asientos vacíos. Si no se hace algo para emparejar la demanda, las ventas se pierden o tal vez se necesiten amortiguadores de capacidad mayores. Para otras compañías, las opciones de oferta para manejar una demanda irregular pueden ser tiempo extra, contratar y recortar la fuerza de trabajo, y mantener inventarios de previsión. Todas tienen un costo adicional. Esto es la **administración de la demanda**, el proceso de cambiar los patrones de demanda mediante una o más opciones de demanda.

administración de la demanda
Proceso para cambiar los patrones de demanda utilizando una o más opciones de demanda.

Opciones de demanda

Se dispone de varias opciones para administrar la demanda, que incluyen productos complementarios, precios promocionales, citas programadas, reservaciones, administración del ingreso, órdenes atrasadas, pedidos pendientes y faltantes. El administrador debe seleccionar una o más de ellas, como se ilustra más adelante.

Productos complementarios Una opción de demanda para emparejar la carga sobre los recursos de una compañía es fabricar **productos complementarios** o servicios que tengan requerimientos de recursos similares, pero diferentes ciclos de demanda. Por ejemplo, quienes preparan albóndigas con harina de matzá para las celebraciones de la Pascua judía están en un negocio estacional. La B. Manischewitz Company, un productor de alimentos Kosher en la ciudad de Jersey, Nueva Jersey, que antes experimentaba 40% de sus ventas anuales solo durante los días de fiestas de Pascua, se expandió a mercados con atracción todo el año, como alimentos bajos en carbohidratos y bajos en grasas, incluyendo sopas enlatadas y galletas, sopa de remolacha, mezclas para pastel, aderezos de ensalada y mezclas para untar, jugos y condimentos.

productos complementarios
Servicio o productos que tienen requerimientos similares de recursos, pero diferentes ciclos de demanda.

Para los proveedores de servicios, un departamento de parques y recreación puede contrarrestar los requerimientos estacionales de personal para las actividades de verano si ofrece patinaje en hielo, toboganes o actividades bajo techo durante los meses de invierno. La clave es encontrar servicios y productos que se puedan producir con los recursos existentes y puedan nivelar la necesidad de recursos todo el año.

Precios promocionales Las campañas promocionales están diseñadas para incrementar las ventas con precios creativos. Los ejemplos incluyen los programas de reembolsos en automóviles, las reducciones de precios de la ropa de invierno en los últimos meses del verano, los precios reducidos de habitaciones de hoteles durante las temporadas bajas y "dos por el precio de uno" en venta de llantas para vehículos. Los precios más bajos pueden incrementar la demanda del producto o servicio por parte de clientes nuevos o existentes, quitar ventas a los competidores o promover que los clientes compren más en el futuro. Los dos primeros resultados aumentan la demanda global, mientras que el tercero cambia la demanda al periodo actual.

Citas programadas Los proveedores de servicios con frecuencia pueden programar a sus clientes por periodos definidos de satisfacción de órdenes. Con este enfoque, la demanda se nivela para que no exceda la capacidad de suministro. Un sistema de citas asigna tiempos específicos para el servicio a clientes. Las ventajas de este método son el servicio oportuno y la alta utilización del personal de servicio.

Médicos, dentistas, abogados y talleres de reparación son ejemplos de proveedores de servicios que utilizan el sistema de citas. Los doctores pueden utilizar el sistema para programar partes de su día para visitar a sus pacientes en

Thinkstock Images/Getty Images

El consultorio de este médico utiliza el sistema de citas para programar a los pacientes por periodos definidos de satisfacción de órdenes. Los tiempos se seleccionan de manera que sean cómodos para el paciente y se ajustan al programa del doctor. La demanda se nivela y no excede a la capacidad.

hospitales y los abogados pueden separar tiempo para preparar sus casos. Debe tenerse cuidado de ajustar la duración de las citas a las necesidades de los clientes individuales y no solo programar clientes en intervalos iguales.

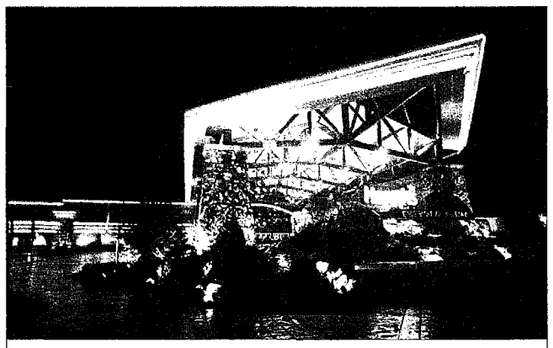
Reservaciones Los sistemas de reservaciones, aunque bastante similares a los sistemas de citas, se usan cuando el cliente de hecho ocupa o utiliza las instalaciones asociadas con el servicio. Por ejemplo, los clientes reservan cuartos de hoteles, automóviles, asientos en aviones y en conciertos. La mayor ventaja del sistema de reservaciones es el tiempo de entrega que obtienen los administradores y la habilidad de nivelar la demanda. Los administradores pueden manejar a los que no se presentan con una mezcla de sobreventa, depósitos y penalizaciones por cancelación. Algunas veces, sobreventa significa que es posible que un cliente con reservación no sea atendido como se le prometió. En esos casos, se pueden ofrecer bonos por compensación. Por ejemplo, un pasajero de una aerolínea obtiene el siguiente vuelo disponible y además le ofrecen un boleto para un vuelo gratis en el futuro.

administración del ingreso (*revenue management*)
Variar el precio en el momento correcto para los diferentes segmentos de clientes con el fin de maximizar el rendimiento de la capacidad existente.

Administración del ingreso Una combinación especializada de opciones de precio y reservaciones para los proveedores de servicio es una administración de ingreso. La **administración del ingreso** (algunas veces llamada *administración del rendimiento, yield management*) es el proceso de variar el precio en el momento correcto para los diferentes segmentos de clientes a fin de maximizar los ingresos generados por la capacidad de suministro existente. Funciona mejor cuando se puede segmentar a los clientes, los precios se pueden variar por segmentos, los costos fijos son altos, los costos variables son bajos, la duración del servicio es predecible y la capacidad se pierde si no se usa (conocida como *capacidad perecedera*). Las aerolíneas, los hoteles, los cruceros, los restaurantes (especiales para el desayuno) y la renta de automóviles son buenos ejemplos. Los sistemas de reservaciones computarizados se actualizan cada hora, utilizando reglas de decisión para abrir o cerrar clases de precios según la diferencia entre la oferta y los pronósticos de demanda que se actualizan de manera continua. En la industria aérea, los precios se bajan si un vuelo dado no se está vendiendo con la rapidez esperada, hasta que se compran más asientos. De modo alternativo, si la demanda esperada se está desarrollando, es posible subir los precios de los asientos restantes. Los viajeros de negocios de última hora pagan precios más altos, mientras que los viajeros por placer que hacen reservaciones con antelación y se quedan durante el fin de semana obtienen precios más bajos. Southwest Airlines ahora segmenta a sus clientes creando una clase de boleto "Selecto de negocios" que recompensa con privilegios a los viajeros frecuentes que están dispuestos a pagar precios más altos. La práctica administrativa 15.1 describe una manera inusual de segmentar a los clientes y establecer precios en los casinos.

PRÁCTICA ADMINISTRATIVA 15.1 Harrah's Cherokee Casino & Hotel

Las reglas de decisión en los sistemas de administración del ingreso son enteramente diferentes en los casinos. El pago de la administración del ingreso, cuando se combina con el proceso de relación con el cliente, es especialmente fuerte en Harrah's Cherokee Casino & Hotel aunque no sirva alcohol y no tenga las mesas de juego tradicionales. La diferencia con los casinos es que su mayor fuente de ingresos es el juego, no las habitaciones del hotel y los restaurantes. Los clientes están segmentados no por el momento en que hacen su reservación o si esta incluye un fin de semana, sino por cuánto dinero es posible que jueguen. Los grandes jugadores pueden perder miles de dólares por día, mientras que los clientes adversos al riesgo pueden perder $25 por día. La información sobre si están dispuestos a jugar llega del sistema de administración de la relación con el cliente de Cherokee (véase el proceso de relación con el cliente en el capítulo 12, "Integración de la cadena de suministro") que utiliza un programa de tarjetas "Total Rewards". Los clientes presentan esta tarjeta cada vez que hacen una apuesta y reciben a cambio privilegios y regalos según el número de puntos acumulados. Cuando un cliente habla para pedir una reservación, el moderno sistema de administración del ingreso tiene el mando. Se pregunta al cliente el número de su tarjeta "Total Rewards", con el que el sistema estima cuánto dinero apuesta por noche, a partir de su historia. El número se puede traducir de manera probabilística en la ganancia neta esperada del casino por noche para ese cliente. Se reservan muchas habitaciones hasta el último minuto para los grandes jugadores. Ellos no solo obtienen un cuarto, es gratis. Con el sistema de administración del ingreso de Cherokee, cada quien tiene sus precios, dependiendo de cuánto quieren apostar.



DAVID T. FOSTER III KRT/Newscom

Harrah's Cherokee Casino & Hotel tiene un enfoque único para la administración del ingreso. *Utiliza un moderno sistema mediante el cual se* reservan muchas habitaciones para los grandes jugadores y su estancia es gratis. Cada quien tiene sus precios de habitación, dependiendo de su historia de juego.

Fuente: Richard Metters, C. Queenan, M. Ferguson, L. Harrison, J. Higbie, S. Ward, B. Barfield, T. Farley, A. Kuyumcu y A. Duggasani, "The 'Killer Application' of Revenue Management: Harrah's Cherokee Casino & Hotel", *Interfaces*, vol. 38 (2008); **www.harrascherokee.com** (2011).

Órdenes atrasadas Parecido a las citas o las reservaciones de los proveedores de servicios, las **órdenes atrasadas** son una acumulación de órdenes de los clientes que un fabricante promete entregar en una fecha futura. Los fabricantes en la cadena de suministro que mantienen órdenes atrasadas como práctica normal del negocio pueden dejar que las órdenes atrasadas crezcan durante los periodos de alta demanda y luego reducirlas durante los periodos de demanda baja. Los fabricantes de aviones no prometen entrega instantánea como lo hacen los mayoristas y minoristas más adelante en la cadena de suministro. En su lugar, imponen un tiempo de entrega entre el momento en que se coloca la orden y su entrega. Por ejemplo, un fabricante de partes para automóvil puede acceder a entregar al taller de servicio de una agencia un lote de 100 chapas para puertas de un modelo en particular el próximo martes. El fabricante de partes utiliza esa fecha de entrega para planear su producción de chapas dentro de sus límites de capacidad. Las empresas que con mayor frecuencia utilizan órdenes atrasadas —y dejan que se acumulen durante los periodos de demanda alta— *hacen productos personalizados y tienden a tener* una estrategia de "producción sobre pedido". Las órdenes atrasadas reducen la incertidumbre de los requerimientos de producción futuros y también pueden usarse para nivelar la demanda. Sin embargo, si son demasiadas, se convierten en una desventaja competitiva.

órdenes atrasadas (*backlogs*)
Acumulación de órdenes de clientes que un fabricante promete entregar en alguna fecha futura.

Órdenes pendientes y faltantes (*backorders*) Un último recurso en la administración de la demanda es establecer estándares bajos para el servicio al cliente, ya sea en la forma de órdenes pendientes o faltantes (véase el capítulo 10, "Diseño de la cadena de suministro"). No debe confundirse con las órdenes atrasadas: una *orden pendiente* es una orden de un cliente que no se puede satisfacer de inmediato, pero se entrega en cuanto es posible. La demanda puede ser demasiado impredecible o el artículo demasiado costoso para tenerlo en inventario. Aunque el cliente no está contento con el retraso, la orden no se pierde y se satisface en una fecha posterior. Por el contrario, un *faltante* es muy parecido, excepto que la orden se pierde y el cliente va a otra parte. Una orden pendiente se suma a los requerimientos de demanda del siguiente periodo, mientras que un faltante no. Las órdenes pendientes y los faltantes pueden llevar a la insatisfacción de los clientes que tal vez hagan negocios con otra empresa. En general, las órdenes pendientes y los faltantes deben evitarse.

También se pueden utilizar combinaciones de las opciones de demanda. Por ejemplo, un fabricante de equipo de iluminación tiene varios productos caracterizados como "movimiento lento con picos", donde se venden solo 2 o 3 unidades en varias semanas y de pronto hay una enorme orden de 10,000 unidades la siguiente semana. La razón es que su producto fue comprado por los administradores de una propiedad comercial que pueden estar actualizando el sistema de luz en un gran edificio de oficinas. El resultado fue una pesadilla de pronósticos y tener que recurrir a opciones de suministro de alto costo para cumplir los picos de la demanda. El gran avance para resolver este problema fue combinar las opciones de precio y órdenes atrasadas. Ahora se ofrece a los contratistas 3% de descuento (opción de precio) en cualquier orden mayor que 10,000 unidades que se coloque cinco semanas o más, antes de que se necesiten (opción de orden atrasada). La orden adelantada permite al fabricante suavizar sus procesos de producción, ahorrando millones de dólares anuales.

El lado izquierdo de la tabla 15.2 resume las opciones de demanda para la planeación y programación de operaciones y el lado derecho enumera las opciones para equilibrar la oferta con la demanda. Las siguientes dos secciones sobre planeación y programación de operaciones y ventas cubren las opciones de oferta.

TABLA 15.2 | OPCIONES DE DEMANDA Y OFERTA PARA LA PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LAS OPERACIONES

Opciones de demanda	Opciones de oferta
Productos complementarios	Inventario de previsión
Precios promocionales	Ajuste de fuerza de trabajo (contratación y despido)
Citas programadas	Utilización de fuerza de trabajo (tiempo extra y tiempo improductivo)
Reservaciones	Trabajadores de tiempo parcial y subcontratación
Administración del ingreso	Programa de vacaciones
Órdenes atrasadas	Programa de fuerza de trabajo
Órdenes pendientes	Secuencias de trabajo y cliente
Faltantes	Aceleración

Planes de ventas y operaciones

Desarrollar planes de ventas y operaciones significa tomar decisiones. En esta sección nos concentramos en la entrada de información, las opciones de oferta mismas y las estrategias que se consideran en las decisiones de Planes de Ventas y Operaciones (PVyO).

Entradas de información

Del mismo modo que es necesario administrar el lado de la demanda, se requiere consenso entre los departamentos de la empresa cuando se toman decisiones sobre la oferta. Las entradas de información se buscan para crear un plan que funcione para todos. La figura 15.2 da las entradas de cada área funcional. Deben tomarse en cuenta para asegurar que el plan sea bueno y factible. Esa coordinación ayuda a sincronizar el flujo de servicios materiales e información a través de la cadena de suministro para balancear mejor la oferta con la demanda del cliente.

FIGURA 15.2 ▶
Entradas administrativas de las áreas funcionales para los planes de ventas y operaciones

Opciones de oferta

Dados los pronósticos de la demanda, ya modificados por las opciones de administración de la demanda, los administradores de operaciones deben desarrollar un plan para cumplir la demanda, eligiendo algunas de las opciones de oferta enumeradas en la tabla 15.2.

Inventario de previsión El *inventario de previsión* se puede usar para absorber tasas desiguales de demanda o suministro. Por ejemplo, una planta que tiene demanda estacional puede almacenar inventarios con anticipación durante los periodos de demanda leve y utilizarlos durante los periodos de demanda alta. Los fabricantes de aire acondicionado, como Whirlpool, pueden experimentar 90% de su demanda anual durante solo tres meses de cada año. El inventario de previsión o adicional también puede ayudar cuando la oferta, más que la demanda, es irregular. Por ejemplo, una compañía puede almacenar cierto producto comprado si los proveedores de la compañía esperan limitaciones de capacidad severas. A pesar de estas ventajas, el inventario de previsión puede ser costoso, en particular si se almacena en su estado terminado. Más aún, cuando los servicios o productos se personalizan, el inventario de previsión no suele ser una opción. Los proveedores de servicios en la cadena de suministro casi nunca utilizan inventario de previsión porque los servicios no se pueden almacenar.

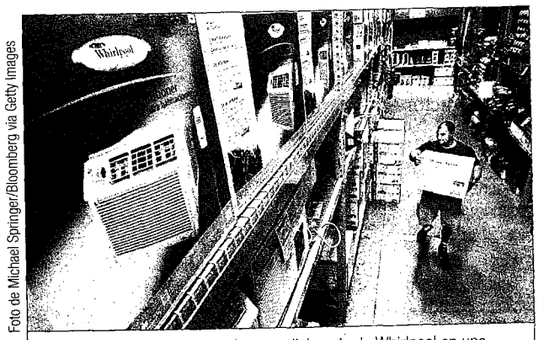


Foto de Michael Springer/Bloomberg via Getty Images

Un empleado almacena un aire acondicionado de Whirlpool en una tienda de Lowe's en Westborough, Massachussetts. La demanda de las unidades de ventana es altamente estacional y también depende de variaciones en el clima. Por lo general, Whirlpool comienza con la producción de aires acondicionados para habitación en el otoño y los mantiene en inventario hasta que se envían en la primavera. Acumular un inventario de previsión en la temporada holgada permite a la compañía nivelar las tasas de producción durante gran parte del año y satisfacer la demanda en los periodos pico (primavera y verano) cuando las tiendas colocan la mayoría de sus órdenes.

Ajustes a la fuerza de trabajo La administración puede ajustar los niveles de fuerza de trabajo contratando o despidiendo empleados. Esta alternativa puede ser atractiva si la fuerza de trabajo es no calificada o semicalificada y el grupo de empleados es grande. Es más probable encontrar estas condiciones en algunos países que en otros. Sin embargo, para una compañía en particular, el tamaño del grupo de mano de obra calificada puede limitar el número de nuevos empleados disponibles para contratar en cualquier momento. También, los nuevos empleados deben capacitarse y la amplitud de las instalaciones de capacitación tal vez limite el número de contrataciones en cualquier momento. En algunas industrias, despedir empleados es difícil o inusual por razones contractuales (sindicatos); en otras industrias, como la de turismo y la de agricultura, la norma son las contrataciones y despidos estacionales.

Utilización de la fuerza de trabajo Una alternativa a los ajustes de la fuerza de trabajo es un cambio en su utilización, incluyendo tiempo extra y tiempo improductivo. El **tiempo extra** significa que los empleados pueden trabajar más horas que las de un día hábil o semana hábil normal y recibir el pago adicional por las horas extraordinarias. Se puede utilizar para satisfacer los requerimientos de

tiempo extra
Tiempo que los empleados trabajan, que es más largo que el día o semana normal de trabajo, por el cual reciben un pago adicional.

producción que no se pueden completar en el tiempo normal. El tiempo extra es costoso (suele pagarse 150% del pago por el tiempo normal) y los trabajadores con frecuencia no quieren trabajar muchas horas extra por periodos extensos. El tiempo extra excesivo también puede tener el resultado de una disminución en la calidad y en la productividad. Por otro lado, ayuda a evitar el costo de las prestaciones (como seguro de salud, cuidado dental, seguridad social, fondos de retiro, vacaciones pagadas y días festivos) que acompañan a la contratación de nuevos empleados de tiempo completo.

Tiempo improductivo significa que los empleados no tienen suficiente trabajo para el día o la semana normal. Esto es, no se pueden utilizar las ocho horas al día o los cinco días de la semana. El tiempo improductivo ocurre cuando la capacidad de mano de obra excede los requerimientos de demanda (inventario de previsión neto) y esta capacidad en exceso no puede o no debe utilizarse de manera productiva para acumular inventario o para satisfacer las órdenes de los clientes antes de las fechas de entrega ya prometidas.

tiempo improductivo
Situación que ocurre cuando los empleados no tienen suficiente trabajo para el día o la semana de trabajo normal.

Este tiempo improductivo puede pagarse o no. Un ejemplo de *tiempo improductivo pagado* es cuando los empleados se mantienen en la nómina en lugar de despedirlos. En este escenario, los empleados trabajan un día completo y reciben su salario completo, pero no están tan ocupados debido a una carga de trabajo ligera. Algunas compañías utilizan el tiempo improductivo (aunque no lo llaman así) durante los periodos holgados, en particular con los empleados altamente capacitados que son difíciles de reemplazar o cuando existen obstáculos para despedir trabajadores. Las desventajas de pagar el tiempo improductivo incluyen el costo de pagar por trabajo no realizado y la disminución en la productividad.

Empleados de tiempo parcial Otra opción, además del tiempo improductivo, es contratar trabajadores de tiempo parcial, que cobran solo por las horas y días trabajados. Quizá trabajen nada más durante las horas pico del día o los días pico de la semana. Algunas veces, los arreglos de tiempo parcial proporcionan horarios de trabajo predecibles, pero en otros casos no se llama a los trabajadores si la carga de trabajo es ligera. Estos acuerdos son más comunes en los puestos de pocas habilidades o cuando la oferta de trabajadores es suficiente. Los empleados de tiempo parcial suelen no tener prestaciones.

Subcontratistas Se pueden utilizar subcontratistas para superar faltantes de capacidad de corto plazo, como durante los picos de la estación o del ciclo de negocios. Los subcontratistas pueden proveer servicios, hacer componentes y subensamblajes, o incluso el producto completo.

Programación de vacaciones Un fabricante puede cerrar durante un periodo anual de calma en las ventas, dejar un equipo estructural para cubrir operaciones y realizar mantenimiento. Tal vez se promueva entre los empleados de un hospital que tomen todas o parte de sus vacaciones durante periodos holgados. El uso de estas alternativas depende de si el empleador tiene injerencia en la programación de las vacaciones de sus empleados. En cualquier caso, es posible desanimar a los empleados de tomar vacaciones durante los periodos pico o animarlos a tomarlas durante los periodos holgados.

Estrategias de planeación

Centramos la atención en las opciones de oferta que definen las tasas de salida y los niveles de la fuerza de trabajo. Se utilizan dos estrategias básicas que son útiles como punto de partida en la búsqueda del mejor plan.

1. *Estrategia de persecución.* La **estrategia de persecución** involucra contratar y despedir empleados para igualar el pronóstico de demanda durante el horizonte de planeación. Variar la capacidad de la fuerza de trabajo del tiempo normal para igualar la oferta a la demanda no requiere inversión en inventario, tiempo extra o tiempo improductivo. Las desventajas son el gasto de ajustar continuamente los niveles de la fuerza de trabajo, la alienación potencial de los trabajadores y la pérdida de productividad y calidad debido a los cambios constantes de la fuerza de trabajo.
2. *Estrategia al nivel de utilización.* La **estrategia al nivel de utilización** involucra mantener una fuerza de trabajo constante (excepto tal vez al principio del horizonte de planeación). Puede variar su utilización para igualar el pronóstico de la demanda mediante tiempo extra, tiempo improductivo (pagado o no) y planeación de vacaciones (es decir, vacaciones pagadas cuando la demanda es baja). El tamaño de una fuerza de trabajo puede determinarse en varios niveles: los administradores pueden elegir mantener una fuerza de trabajo grande para minimizar la utilización planeada de tiempo extra durante los periodos pico (lo cual desafortunadamente también maximiza la necesidad

estrategia de persecución
Estrategia que incluye contratar y despedir empleados para igualar el pronóstico de la demanda.

estrategia al nivel de utilización
Estrategia que mantiene constante la fuerza de trabajo, pero varía su utilización mediante tiempo extra, tiempo improductivo y planeación de vacaciones para igualar el pronóstico de la demanda.

Justin Kase zsixz/Alamy

Aunque el negocio de Hallmark es estacional, la compañía nunca ha despedido empleados. *En su lugar, los empleados se capacitan para hacer diversos trabajos en diferentes tiempos y en distintas plantas, si es necesario.* Como saben que tienen mayor seguridad de trabajo, se esfuerzan mucho para mantener bajos los tiempos de preparación y los costos de Hallmark.

de tiempo sobrado durante los periodos holgados). De otra manera, pueden seleccionar mantener una fuerza de trabajo más pequeña y apoyarse fuertemente en el tiempo extra durante los periodos pico (esto coloca presión en la fuerza de trabajo y pone en peligro la calidad).

Estas dos estrategias "puras" por sí solas no suelen producir el mejor plan de ventas y operaciones. Ta vez no sea lo mejor mantener la fuerza de trabajo justo a un nivel o variarla para que iguale exactamente la demanda pronosticada periodo por periodo. La mejor estrategia, entonces, sería una **estrategia mixta** que considera toda la amplia gama de opciones de oferta. La estrategia de persecución está limitada a contratar y despedir empleados. La estrategia al nivel de utilización está limitada al tiempo extra, el tiempo improductivo y la programación de vacaciones. La estrategia mixta abre las posibilidades a todas las opciones, incluso inventario de previsión, trabajadores de tiempo parcial, subcontratistas, órdenes pendientes y faltantes.

estrategia mixta
Estrategia que considera toda la gama de opciones de suministro.

Restricciones y costos

Un plan de ventas y operaciones aceptable debe reconocer las restricciones o los costos relevantes. Las restricciones pueden ser limitaciones físicas o relacionadas con políticas administrativas. Ejemplos de restricciones físicas serían las capacidades de máquinas que limitan la salida máxima o el espacio para almacenar inventario inadecuado. Las restricciones políticas incluirían limitaciones sobre el número de órdenes pendientes o el uso de subcontratistas o tiempo extra, así como los niveles de inventario mínimo necesarios para lograr los inventarios de seguridad deseados. Los aspectos éticos también pueden influir, como despidos excesivos o el tiempo extra requerido.

Por lo común, muchos planes pueden contener varias restricciones. La tabla 15.3 enumera los costos que considera quien hace la planeación cuando prepara los planes de ventas y operaciones.

Planes de ventas y operaciones como un proceso

La planeación de las ventas y las operaciones es un proceso de toma de decisiones, en el que participan los planeadores y la administración. Es dinámico y continuo, conforme se actualizan periódicamente los aspectos del plan cuando se dispone de nueva información y surgen nuevas oportunidades. Es un proceso de funciones cruzadas que busca un conjunto de planes que todas las funciones de la empresa puedan apoyar. Para cada familia de productos, se toman decisiones con base en el balance entre costo, historia reciente, recomendaciones de los planeadores y los mandos medios y el juicio del equipo ejecutivo.

La figura 15.3 muestra un plan típico para un fabricante. El plan se desarrolla para una familia de productos de "hacer para almacenar" del fabricante, expresado en unidades agregadas. Una hoja de cálculo sencilla muestra la interacción entre la demanda y la oferta. La historia a la izquierda de enero a marzo muestra que los pronósticos van siguiendo a las ventas reales y que la producción se ajusta bien al plan. Las proyecciones del inventario son de particular interés para finanzas porque afectan significativamente los requerimientos de efectivo del fabricante. Las últimas dos columnas arriba a la derecha muestran la correspondencia de las proyecciones de ventas del año fiscal actual con el plan de negocios actual.

Este plan en particular se proyecta para 18 meses, comenzando en abril. Las secciones de pronósticos, operaciones e inventario para los primeros seis meses se presentan mes por mes y de manera trimestral para los siguientes seis meses. Por último, los totales para los últimos seis meses en el horizonte de planeación se dan en una sola columna. Esta tabla tiene más precisión en el corto plazo, pero cubre bien el futuro, todo con un número limitado de columnas.

Esta familia de productos, que se fabrica para almacenar, experimenta una demanda altamente estacional. El plan de operaciones es acumular el inventario estacional durante la temporada

TABLA 15.3 | TIPOS DE COSTOS CON LA PLANEACIÓN DE VENTAS Y OPERACIONES

Costo	Definición
Tiempo normal	Salarios de tiempo normal pagados a los empleados más las contribuciones a las prestaciones, como seguro de salud, cuidado dental, seguro social, fondo de retiro y pago por vacaciones, días festivos y otros tipos de ausencias.
Tiempo extra	Salarios pagados por el trabajo adicional a la semana normal, alrededor de 150% del salario de tiempo normal (algunas veces hasta 200% en domingos y días festivos) excluyentes de prestaciones. El tiempo extra puede ayudar a evitar el costo adicional de prestaciones que acompaña a la contratación de otro empleado de tiempo completo.
Contratación y despido	Costos de anunciar puestos, entrevistas, programas de capacitación para nuevos empleados, desperdicio ocasionado por la falta de experiencia de los nuevos empleados, pérdida de productividad y documentación inicial. Los costos de despido incluyen las entrevistas de salida, pago de indemnización, retención y recapacitación de los trabajadores y administradores restantes y pérdida de productividad.
Inventario almacenado	Costo que varía con el nivel de inversión en inventario: costos de capital comprometido en el inventario, costos variables de almacenar y costos del almacén, costos por mermas y obsolescencia, costos de seguros e impuestos.
Órdenes pendientes y faltantes	Costos adicionales para acelerar las órdenes con fecha de entrega vencida, costos de ventas perdidas y costo potencial de perder un cliente si se va con un competidor (conocido también como pérdida de la buena voluntad).

Artic Air Company: plan de ventas y operaciones para abril

Familia: unidades de ventana mediana (fabricar para almacenar) *Unidad de medida:* 100 unidades

	HISTORIA									3er	4o	Meses	Proyección año	Plan de
VENTAS	E	F	M	A*	M	J	J	A	S	trimestre**	trimestre	13-18	fiscal ($000)	negocios ($000)
Nuevo pronóstico	45	55	60	70	85	95	130	110	70	150	176	275	$8,700	$8,560
Ventas reales	52	40	63											
Dif. por mes	7	–15	3											
Acum.		–8	–5											
OPERACIONES														
Nuevo plan	75	75	75	75	75	85	85	85	75	177	225			
Real	75	78	76											
Dif. por mes	0	3	1											
Acum.		3	4											
INVENTARIO														
Plan	85	105	120	125	115	105	60	35	40	198	321			
Real	92	130	143											

ASPECTOS Y SUPOSICIONES DE DEMANDA
1. Diseño de nuevos productos que se lanzarán en enero del siguiente año.

ASPECTOS DE OFERTA
1. Vacaciones principalmente en noviembre y diciembre.
2. Tiempo extra en julio y agosto.

* *Abril es el primer mes del horizonte de planeación para el plan actual. Cuando se desarrolle el plan del mes próximo, su primer mes en el horizonte de planeación será mayo y el mes más reciente en la historia será abril (y enero ya no aparece en la historia).*

** Esta columna proporciona los totales de ventas, operaciones e inventario de octubre a diciembre. *Por ejemplo, el pronóstico de 150 unidades* se traduce en un promedio de 50 unidades por mes (150/3 = 50).

◀ FIGURA 15.3
Plan de ventas y operaciones para una familia de productos que se fabrica para almacenar

baja, programar lo más posible las vacaciones en noviembre y diciembre; utilizar tiempo extra en la estación pico de junio, julio y agosto. Por ejemplo, el plan de operaciones aumenta la producción cada mes de 75 a 85 de junio a agosto, regresa a 75 en septiembre y luego baja a un promedio de solo 59 (177/3) de octubre a diciembre. Las hojas de cálculo del plan utilizan formatos diferentes dependiendo de la estrategia de producción e inventario. Para una estrategia de ensamblar por pedido, el inventario no consiste en productos terminados. En su lugar, es un inventario de componentes y subensambles estándar acumulado para las operaciones de ensamblar y terminar. Para una estrategia de hacer por pedido, la sección de inventario en el plan de la figura 15.3 se sustituye por una sección que muestra las cantidades reales y planeadas de órdenes atrasadas.

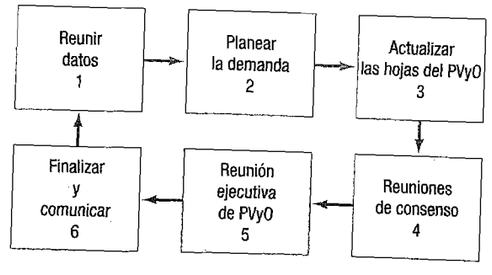
Los planes para los proveedores de servicio son bastante diferentes. Por un lado, su plan no tiene una sección de inventario, sino que se enfoca en la demanda y oferta de los recursos humanos. Es común que los pronósticos se expresen en términos de empleados requeridos, con renglones separados para tiempo normal, tiempo extra, vacaciones, empleados de tiempo parcial, etc. Los diferentes departamentos o clasificaciones de trabajadores sustituyen a las familias de productos.

El proceso en sí, que suele hacerse cada mes, consiste en seis pasos básicos. Se parecen mucho a los pasos presentados en el capítulo 14, "Pronósticos".

Paso 1. Comenzar por "poner al día" el plan para el nuevo horizonte de planeación. Iniciar el trabajo preliminar justo después del fin de mes. Actualizar los archivos con las ventas, producción, inventarios, costos y restricciones reales.

Paso 2. Participar en la planeación de la demanda y en los pronósticos para crear los pronósticos de la demanda autorizados. Para los proveedores de servicios, los pronósticos son los requerimientos de personal para cada grupo de trabajo. Por ejemplo, un director de enfermeras en un hospital puede desarrollar un índice de carga de trabajo para el personal de enfermería y traducirlo a una proyección de la carga de pacientes cada mes en una cantidad total equivalente de tiempo de cuidado de una enfermera —y con ello el número de enfermeras— requerido para cada mes del año.

Paso 3. Actualizar la hoja de cálculo de la planeación de ventas y operaciones para cada familia, reconocer las restricciones y costos relevantes, incluyendo la disponibilidad de materiales de los proveedores, las instalaciones de capacitación capaces de manejar solo tantas contrataciones al mismo tiempo, las capacidades de las máquinas o el espacio limitado de almacén. Las restricciones políticas pueden incluir limitaciones en el número de órdenes pendientes, o el uso de subcontratación o tiempo extra, lo mismo que los niveles mínimos de inventario necesarios para lograr el inventario de seguridad deseado. En general, muchos planes pueden satisfacer un conjunto de restricciones dado. El planeador busca el plan que balancee mejor costos, servicio al cliente, estabilidad de la fuerza de trabajo y cosas similares. Para este proceso puede ser necesario revisar el plan varias veces.



Cultura Creative/Alamy

Colorants de FUJIFILM fabrica tintas y tintes, principalmente para cartuchos de impresoras de inyección de tinta y opera un proceso efectivo de PVyO. Debe coordinar una planta de terminado en Estados Unidos con la planta de manufactura en masa en el Reino Unido. Los administradores de todas las funciones tienen una teleconferencia en el sitio de Estados Unidos con otros administradores del Reino Unido. En la foto, una reunión de la sociedad (paso 4 en el proceso de PVyO) revisa los planes de demanda, producción e inventarios, así como el plan de capital de trabajo proyectado.

Paso 4. Realizar una o más reuniones de consenso con los interesados para llegar a la mejor manera de equilibrar la oferta con la demanda. Los participantes pueden incluir a los administradores de la cadena de suministro, de planta, contraloría, compras, control de la producción o logística. La meta es un conjunto de recomendaciones para presentar el plan de ventas y operaciones (PVyO) en la reunión ejecutiva de la compañía. En caso de no llegar a un acuerdo, se preparan escenarios de planes alternativos. También se prepara un panorama financiero actualizado del negocio presentando los planes para todas las familias de productos en una hoja de cálculo expresada en dólares.

Paso 5. Presentar recomendaciones por familia de productos en la reunión ejecutiva del PVyO, que suele incluir al presidente y los vicepresidentes de las áreas funcionales de la compañía. El plan se revisa en cuanto al plan de negocios, los aspectos de nuevos productos, proyectos especiales y otros factores relevantes. Los ejecutivos pueden pedir cambios finales al plan, como balancear mejor los objetivos en conflicto. La aceptación de este plan autorizado no necesariamente significa que todos están de acuerdo, pero si implica que todos trabajarán para lograr el plan.

Paso 6. Actualizar las hojas de cálculo para que reflejen el plan autorizado y comunicar los planes a los interesados para que se ponga en marcha. Los receptores importantes incluyen a los que realizan la planeación de recursos que se cubre en el siguiente capítulo.

Utilización de hojas de cálculo

El plan de ventas y operaciones de la figura 15.3 no muestra cuánto de las opciones de oferta se usa en el plan de operaciones o sus implicaciones de costo. Analizaremos el uso de hojas de cálculo que hacen justo eso, calcular. El suplemento D, "Programación lineal", describe la aplicación del método de transporte para la planeación de la producción. Ambas técnicas se pueden usar dentro de las actividades de planeación al desarrollar planes prospectivos en el paso 3 del proceso.

Se dispone de varias hojas de cálculo, incluyendo las desarrolladas por usted mismo. Trabajamos aquí con el Solver de *Planeación de ventas y operaciones con hojas de cálculo* (*Sales and Operations Planning with Spreadsheets*) en OM Explorer. La figura 15.4 muestra un plan para un fabricante, que utiliza todas las opciones de oferta excepto el tiempo extra.

FIGURA 15.4 ▶
Plan del fabricante con una hoja de cálculo y estrategia mixta

	1	2	3	4	5	6	Total
Entradas							
Demanda pronosticada	24	142	220	180	136	168	870
Nivel de fuerza de trabajo	120	158	158	158	158	158	910
Tiempo improductivo	6	0	0	0	0	0	6
Tiempo extra	0	0	0	0	0	0	0
Tiempo de vacaciones	20	6	0	0	4	10	40
Tiempo de subcontratación	0	0	0	0	0	6	6
Órdenes pendientes	0	0	0	4	0	0	4
Derivados							
Tiempo utilizado	94	152	158	158	154	148	864
Inventario	70	80	18	0	14	0	182
Contrataciones	0	38	0	0	0	0	38
Despidos	0	0	0	0	0	0	0
Calculados							
Costo tiempo utilizado	$376,000	$608,000	$632,000	$632,000	$616,000	$592,000	$3,456,000
Costo tiempo improductivo	$24,000	$0	$0	$0	$0	$0	$24,000
Costo tiempo extra	$0	$0	$0	$0	$16,000	$40,000	$160,000
Costo tiempo de vacaciones	$80,000	$24,000	$720	$0	$560	$0	$7,280
Costo inventario	$2,800	$3,200	$0	$4,000	$0	$0	$4,000
Costo órdenes pendientes	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$91,200
Costo contratación	$0	$91,200	$0	$0	$0	$0	$0
Costo despidos	$0	$0	$0	$0	$0	$43,200	$43,200
Costo subcontratación	$0	$0	$0	$0	$0		
Costo total	$482,800	726,400	632,720	636,000	632,560	675,200	$3,785,680

Hojas de cálculo para el fabricante La parte superior de la hoja de cálculo muestra los *valores de entrada* que dan los requerimientos de demanda pronosticada y las opciones de oferta por periodo. Varíe estas "palancas" para buscar mejores planes.

La siguiente parte de la hoja (en gris más oscuro) muestra los *valores derivados* que se obtienen de los valores de entrada. El primer renglón se llama *tiempo utilizado*, que es la porción del tiempo normal de la fuerza de trabajo que se paga y es productivo. En cualquier periodo, el tiempo utilizado es igual al nivel de la fuerza de trabajo menos el tiempo improductivo y el tiempo de vacaciones. Por ejemplo, en el periodo 1 el tiempo utilizado es 94 (120 – 6 – 20). Los renglones de contrataciones y despidos se pueden derivar de los niveles de la fuerza de trabajo. En este ejemplo, la fuerza de trabajo aumenta para el periodo 2 de su tamaño inicial de 120 empleados a 158, que significa que se contrató a 38 empleados. Como el tamaño de la fuerza de trabajo permanece constante en 158 en el resto del horizonte de planeación, no ocurrieron más contrataciones ni despidos. Cuando son posibles otras alternativas, como vacaciones, inventario y órdenes pendientes, el tiempo extra y el tiempo improductivo no se pueden derivar solo de la información de la demanda pronosticada y los niveles de la fuerza de trabajo. Por tanto, el tiempo improductivo y el tiempo extra se muestran como valores de entrada (en lugar de valores derivados) en la hoja de cálculo y el usuario debe tener cuidado de especificar valores de entrada congruentes.

La parte final de la hoja de cálculo, de los *valores calculados* del plan, muestra las consecuencias de costo del plan. Junto a las consideraciones cualitativas, el costo de cada plan determina si es satisfactorio o si debe considerarse un plan revisado. Cuando se buscan ideas de cómo mejorar un plan ya evaluado, identificamos sus elementos con costo más alto. Las revisiones que puedan reducir estos costos específicos tal vez produzcan un nuevo plan con costos totales más bajos. Los programas de las hojas de cálculo hacen que el análisis de estos planes sea sencillo y presentan un nuevo conjunto completo de posibilidades para desarrollar planes sólidos.

El plan de la figura 15.4 definitivamente es para un fabricante porque utiliza inventario como ventaja, en especial en los dos primeros periodos. Es una estrategia mixta y no nada más por el uso del inventario de previsión, órdenes pendientes y subcontratación. El nivel de la fuerza de trabajo cambia en el periodo 2, pero no corresponde exactamente a la demanda pronosticada como en la estrategia de persecución. Tiene algunos elementos de la estrategia al nivel de utilización, porque el tiempo improductivo y el tiempo de vacaciones son parte del plan, pero no se apoya exclusivamente en estas opciones de demanda.

Debe tenerse cuidado de reconocer las diferencias en la forma de medir las entradas. Los dos niveles de la fuerza de trabajo están expresados como número de empleados, pero la demanda pronosticada y el inventario se expresan en unidades de producto. Las hojas de cálculo de OM Explorer requieren una unidad de medida común, por lo que debemos traducir algunos datos antes de ingresarlos como valores de entrada. Quizá el enfoque más sencillo es expresar la demanda pronosticada y las opciones de demanda como *equivalentes empleado-periodo*. Si los pronósticos de demanda están dados como unidades de producto, podemos convertirlos en equivalentes de empleado-periodo dividiéndolos entre la productividad del trabajador. Por ejemplo, si la demanda es 1,500 unidades de producto y el empleado promedio produce 100 unidades en un periodo, los requerimientos de la demanda son 15 empleados-periodo equivalentes.

Hojas de cálculo para un proveedor de servicios La misma hoja de cálculo se puede usar para los proveedores de servicios, excepto que el inventario de previsión no es una opción. Se puede desproteger la hoja y luego ocultar los renglones que no son relevantes. Sin embargo, es útil no ocultar el renglón del inventario hasta el final, pues los valores positivos o negativos señalan una inconsistencia en el plan. Aunque la figura 15.4 muestra un buen plan encontrado después de varias revisiones, ilustraremos con el ejemplo 15.1 cómo encontrar un buen plan para un proveedor de servicios, comenzando con las estrategias de persecución y al nivel de utilización (ignorando vacaciones). Estos planes pueden proporcionar información que lleve a planes estratégicos todavía mejores.

EJEMPLO 15.1 Las estrategias de persecución y al nivel de utilización como puntos de partida

La administradora de un centro de distribución grande debe determinar cuánto personal de almacén mantener en la nómina. Ella desea desarrollar un plan de personal que minimice los costos totales y quiere comenzar con las estrategias de persecución y al nivel de utilización. Para la estrategia al nivel de utilización, desea primero intentar un nivel de fuerza de trabajo que cumpla con la demanda y tenga una utilización mínima de tiempo improductivo y no considere la programación de vacaciones.

Primero, la administradora divide el siguiente año en seis periodos. Cada uno de dos meses. Cada empleado de tiempo parcial puede trabajar un máximo de 20 horas por semana en tiempo normal, pero el número real puede ser menor. Una vez en la nómina, cada trabajador se utiliza cada día pero tal vez trabaje solo unas cuantas horas. Se puede usar tiempo extra en los periodos pico.

La demanda pronosticada del centro de distribución se muestra como el número de empleados de tiempo parcial requeridos para cada periodo en el tiempo normal máximo de 20 horas por semana. Por ejemplo, en el periodo tres, se requerirá un estimado de 18 empleados de tiempo parcial trabajando 20 horas por semana en tiempo normal.

	1	2	3	4	5	6	Total
Demanda pronosticada*	6	12	18	15	13	14	78

*Número de empleados de tiempo parcial

Actualmente se tienen 10 empleados de tiempo parcial. No se han restado de la demanda pronosticada. La información de las restricciones y costo es la siguiente:

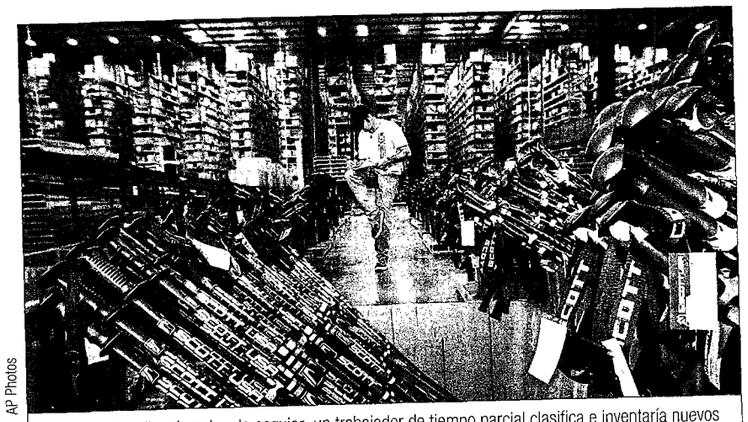
a) El tamaño de las instalaciones de capacitación limita el número de nuevas contrataciones a no más de diez.

b) No se permiten órdenes pendientes; la demanda debe satisfacerse en cada periodo.

c) El tiempo extra no puede exceder 20% de la capacidad del tiempo normal (es decir, cuatro horas) en cualquier periodo. Por lo tanto, lo más que un empleado de tiempo parcial puede trabajar es 1.20(20) = 24 horas por semana.

d) Se pueden asignar los siguientes costos:

Salario de tiempo normal	$2,000 por periodo a 20 horas por semana
Salario de tiempo extra	150% de la tasa en tiempo normal
Contrataciones	$1,000 por persona
Despidos	$500 por persona



AP Photos

Rodeado de miles de palos de esquiar, un trabajador de tiempo parcial clasifica e inventaría nuevos productos en el departamento de recepción del centro de distribución de REI en Sumner, Washington. REI emplea un alto porcentaje de empleados de tiempo parcial, muchos de los cuales son estudiantes de universidad. Tienden a ser personas jóvenes que participan en deportes al aire libre y están familiarizados con el equipo que vende REI.

MyOMLab

El tutor 15.1 en MyOMLab proporciona un nuevo ejemplo de planeación usando la estrategia de persecución con despidos y contrataciones.

SOLUCIÓN

a) Estrategia de persecución

Esta estrategia simplemente se refiere a ajustar la fuerza de trabajo según se necesite para cumplir la demanda, como se muestra en la figura 15.5. Los renglones de la hoja de cálculo que no se aplican (como inventario y vacaciones) están ocultos. El renglón del nivel de la fuerza de trabajo es idéntico al de la demanda pronosticada. Un gran número de contrataciones y despidos comienzan con el despido inmediato de cuatro empleados de tiempo parcial porque el número actual de empleados es 10 y el nivel requerido para el periodo 1 es solo seis. Sin embargo, muchos empleados, como los estudiantes universitarios, prefieren el trabajo de tiempo parcial. El costo total es $173,500 y la mayor parte del aumento en el costo se debe a los despidos y contrataciones frecuentes, que agrega $17,500 al costo del tiempo normal utilizado.

FIGURA 15.5 ▶
Hoja de cálculo para la estrategia de persecución

	1	2	3	4	5	6	Total
Entradas							
Demanda pronosticada	6	12	18	15	13	14	78
Nivel de fuerza de trabajo	6	12	18	15	13	14	78
Tiempo improductivo	0	0	0	0	0	0	0
Tiempo extra	0	0	0	0	0	0	0
Valores derivados							
Tiempo utilizado	6	12	18	15	13	14	78
Contrataciones	0	6	6	0	0	1	13
Despidos	4	0	0	3	2	0	9
Valores calculados							
Costo tiempo utilizado	$12,000	$24,000	$36,000	$30,000	$26,000	$28,000	$156,000
Costo tiempo improductivo	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0
Costo contratación	$0	$6,000	$6,000	$0	$0	$1,000	$13,000
Costo despidos	$2,000	$0	$0	$1,500	$1,000	$0	$4,500
Costo total	$14,000	30,000	42,000	31,500	27,000	29,000	$173,500

b) Estrategia al nivel de utilización

Con el fin de minimizar el tiempo improductivo, la utilización máxima del tiempo extra posible debe ocurrir en el periodo pico. Para esta estrategia de nivelar la utilización en particular (son posibles otras opciones), el mayor tiempo extra que el administrador puede utilizar es 20% de la capacidad de tiempo normal, w, de manera que:

$$1.20w = 18 \text{ empleados requeridos en el periodo pico (periodo 3)}$$

$$w = \frac{18}{1.20} = 15 \text{ empleados}$$

Una plantilla de personal de 15 empleados minimiza la cantidad de tiempo improductivo para esta estrategia de nivelar la fuerza laboral. Debido a que el personal ya incluye 10 empleados de tiempo parcial, el administrador debe contratar de inmediato cinco más. El plan completo se muestra en la figura 15.6. El costo total es $164,000, que parece razonable porque el costo mínimo que se puede concebir es $156,000 (78 periodos × $2,000/periodo). Este costo se puede lograr solo si el administrador encuentra una manera de cubrir la demanda pronosticada para los 78 periodos con tiempo normal. El plan parece razonable principalmente porque involucra el uso de grandes cantidades de tiempo improductivo (15 periodos), que en este ejemplo no se pagan.

MyOMLab

El tutor 15.2 en MyOMLab proporciona un nuevo ejemplo de planeación usando la estrategia al nivel de utilización con tiempo extra y tiempo improductivo.

◀ FIGURA 15.6
Hoja de cálculo para la estrategia al nivel de utilización

	1	2	3	4	5	6	Total
Entradas							
Demanda pronosticada	6	12	18	15	13	14	78
Nivel de fuerza de trabajo	15	15	15	15	15	15	90
Tiempo improductivo	9	3	0	0	2	1	15
Tiempo extra	0	0	3	0	0	0	3
Derivados							
Tiempo utilizado	6	12	15	15	13	14	75
Contrataciones	5	0	0	0	0	0	5
Despidos	0	0	0	0	0	0	0
Calculados							
Costo tiempo utilizado	$12,000	$24,000	$30,000	$30,000	$26,000	$28,000	$150,000
Costo tiempo improductivo	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0
Costo tiempo extra	$0	$0	$9,000	$0	$0	$0	$9,000
Costo contratación	$5,000	$0	$0	$0	$0	$0	$5,000
Costo despidos	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0
Costo total	$17,000	24,000	39,000	30,000	26,000	28,000	$164,000

PUNTO DE DECISIÓN

El administrador, que ahora tiene un punto de referencia con el cual comparar otros planes, decide evaluar algunos otros planes antes de hacer su elección final, comenzando con la estrategia de persecución. La única manera de reducir costos es disminuir de alguna manera la prima del tiempo extra de tres periodos (3 periodos × $3,000/periodo) o reducir el costo de contratar a cinco empleados (5 contrataciones × $1,000/persona). De cualquier manera, es posible obtener mejores soluciones. Por ejemplo, el tiempo improductivo puede ser menor si se retrasa la contratación hasta el periodo 2, ya que la fuerza de trabajo es suficiente hasta entonces. Este retraso disminuiría la cantidad de tiempo improductivo no pagado, que es una mejora cualitativa. Véase ideas adicionales en el modelo activo 15.1.

MyOMLab

El modelo activo 15.1 en MyOMLab muestra el impacto de cambiar el nivel de la fuerza de trabajo, la estructura de costos y la capacidad de tiempo extra.

Programación

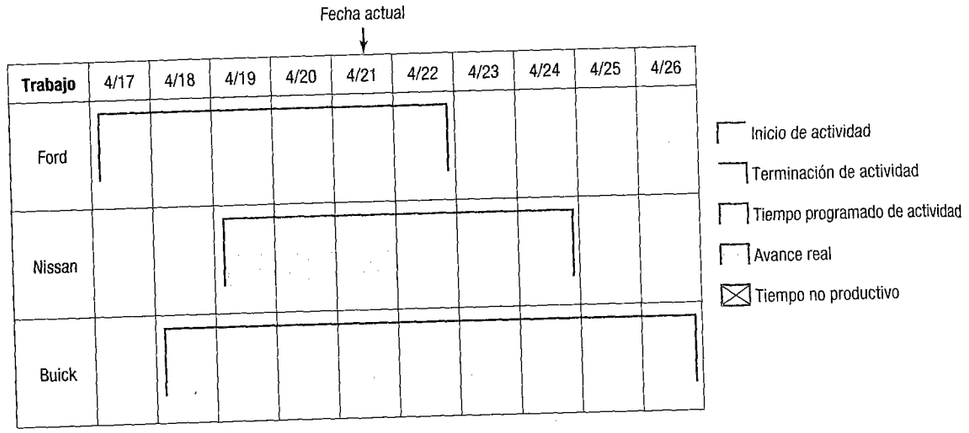
La programación es el último paso en la figura 15.1. Lleva a las operaciones y el proceso de programación de la planeación a la ejecución y es el "momento de la verdad". Este aspecto importante de la administración de la cadena de suministro es en sí un proceso. Requiere reunir datos de fuentes como pronósticos de la demanda o las órdenes específicas de los clientes, la disponibilidad de recursos del plan de ventas y operaciones y las restricciones específicas que deben considerarse para los empleados y clientes. Lugo involucra generar un programa de trabajo para empleados o secuencias de tareas o clientes en estaciones de trabajo. El programa debe coordinarse con los empleados y proveedores para asegurar que todas las restricciones se satisfacen. Cubrimos aquí gráficas de Gantt, programación de empleados, secuencia de tareas en estaciones de trabajo y apoyo de software.

Gráficas de Gantt

Los programas se pueden desplegar de varias maneras. Para los diferentes trabajos o actividades pueden ser una lista de las fechas de entrega, una tabla que muestra sus tiempos de inicio y terminación o una gráfica que muestra sus tiempos de inicio y terminación. Las *gráficas de Gantt* utilizan un tercer enfoque. La figura 2.5 en el capítulo 2 muestra cómo una "imagen puede valer más que mil palabras" en los proyectos administrativos. Los asociados no familiarizados con las técnicas de programación pueden de todas formas comprender la esencia del plan. Esta herra-

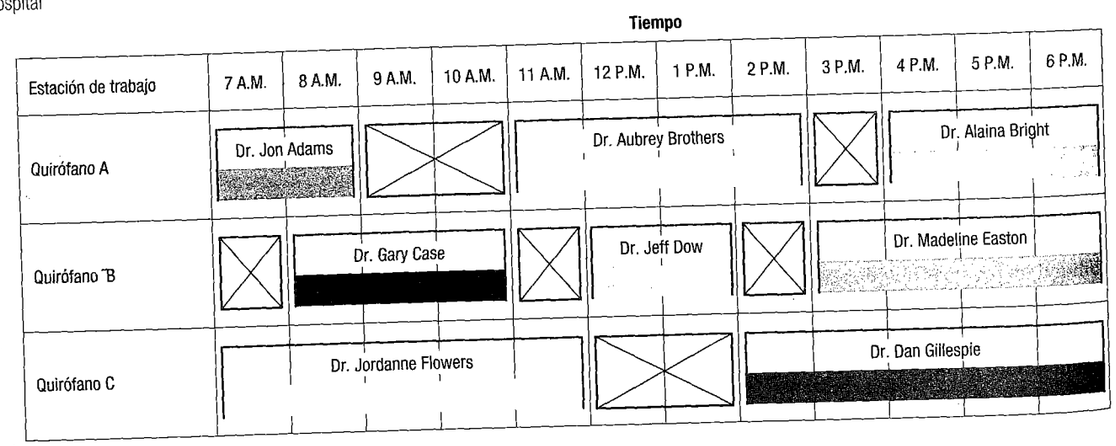
mienta se puede usar para vigilar el avance del trabajo y para ver la carga de las estaciones de trabajo. Las gráficas toman dos formas: **1.** gráfica de avance del trabajo o actividad y **2.** gráfica de la estación de trabajo. La *gráfica de Gantt de avance* despliega el estado actual de cada trabajo o actividad respecto a su fecha de entrega. Por ejemplo, suponga que un fabricante de partes para automóvil tiene tres trabajos en marcha, uno para cada una de las siguientes marcas: Ford, Nissan y Buick. El estado actual de estas órdenes se muestra con barras grises en la figura 15.7; las líneas indican la programación deseada para el inicio y la terminación de cada trabajo. En la fecha actual, 21 de abril, esta gráfica de Gantt muestra que la orden de Ford está atrasada porque operaciones ha terminado solo el trabajo programado para el 18 de abril. La orden de Nissan está a tiempo y la de Buick está adelantada.

FIGURA 15.7 ▶
Gráfica de Gantt de avance para una compañía de autopartes



La figura 15.8 muestra una *gráfica de Gantt para la estación de trabajo* de los quirófanos en un hospital, en un día específico. Con la misma notación que la figura 15.7, la gráfica muestra la carga en los quirófanos y el tiempo no productivo. Los tiempos asignados a cada médico incluyen el tiempo necesario para limpiar la sala para la siguiente cirugía. La gráfica se puede usar para identificar los tiempos para cirugías de urgencia no programadas. También se puede usar para acomodar peticiones de cambios de horario para las cirugías. Por ejemplo, la doctora Flowers tal vez pueda cambiar el inicio de su cirugía a las 2:00 p.m., si intercambia su asignación con el doctor Gillespie en el quirófano C o preguntando a la doctora Brothers si puede iniciar su cirugía una hora antes en el quirófano A y pedir a la doctora Bright que programe su cirugía en la mañana en el quirófano C. De cualquier forma, el administrador del hospital tendrá que participar en la reprogramación de las cirugías.

FIGURA 15.8 ▼
Gráfica de Gantt de estación de trabajo para los quirófanos en un hospital



Programación de empleados

programación de la estación de trabajo
Tipo de programación que determina cuándo trabajan los empleados

Otra manera de administrar la capacidad es la **programación de la estación de trabajo**, que es un tipo de programación que determina cuándo trabajan los empleados. De particular interés son las situaciones en las que no todos los empleados trabajan los mismos cinco días a la semana y las mismas ocho horas por día. El programa especifica el día de guardia y los periodos de descanso para cada empleado durante cierto periodo, como al asignar empleados postales, enfermeras,

pilotos, sobrecargos u oficiales de policía en días y turnos específicos en la semana. Este enfoque se usa cuando los clientes demandan una respuesta rápida y una demanda total se puede prever con precisión razonable. En estos casos, la capacidad se ajusta para cumplir las cargas de trabajo en el sistema de servicio.

Los horarios de la fuerza de trabajo traducen el plan de personal en programas de trabajo específicos para cada empleado. Determinar los días de la semana para cada empleado en sí no conforma el plan de operaciones de personal. Deben satisfacerse los requerimientos diarios establecidos en términos agregados en el plan de personal. La capacidad de la fuerza de trabajo disponible cada día debe cumplir o exceder los requerimientos diarios. Si no lo hace, el programador debe tratar de arreglar los días hasta que se cumplan. Si no se puede encontrar una programación que lo haga, tal vez la administración tenga que cambiar el plan de personal y contratar más empleados, autorizar horas extra o permitir órdenes pendientes.

Digital Vision/Thinkstock

Una sobrecargo sirve café a los pilotos en la cabina. Las líneas aéreas dan servicio más de ocho horas por día y cinco días a la semana, además tienen muchas restricciones técnicas, de comportamiento y legales que deben cumplir. Esas condiciones convierten la programación en un reto.

Restricciones Las restricciones técnicas impuestas en la programación de la fuerza de trabajo son los recursos proporcionados por el plan de personal y los requerimientos del sistema operativo. Sin embargo, pueden imponerse otras restricciones, incluyendo consideraciones legales y de comportamiento. Por ejemplo, se requiere que Air New Zealand tenga al menos un número mínimo de sobrecargos de guardia en todo momento. De manera similar, debe haber de guardias constantes de un número mínimo de personal de seguridad y bomberos en las estaciones de bomberos. Estas restricciones limitan la flexibilidad del administrador para desarrollar los horarios de la fuerza de trabajo.

Las restricciones impuestas por las necesidades psicológicas de los trabajadores complican aún más la programación. Algunas de estas restricciones están escritas en los acuerdos laborales. Por ejemplo, el empleador está de acuerdo con dar a los empleados cierto número de días consecutivos de descanso o en limitar los días consecutivos de trabajo a un máximo determinado. Otras previsiones pueden gobernar la asignación de vacaciones, días festivos o rotación de turnos. Además, deben considerarse las preferencias de los empleados.

Una manera en que los administradores manejan ciertos aspectos no deseables de la programación es usar un **horario rotatorio**, que rota o turna a los empleados por una serie de días u horas de trabajo. Así, en un periodo, cada persona tiene la misma oportunidad de tener fines de semana, días de asueto y días de trabajo, al igual que tardes y noches. Un horario rotatorio da a cada empleado el horario del siguiente empleado la siguiente semana. Por el contrario, un **horario fijo** exige que cada empleado trabaje los mismos días, las mismas horas cada semana.

horario rotatorio
Un horario que rota a los empleados en una serie de días u horas de trabajo.

horario fijo
Horario que exige que cada empleado trabaje los mismos días y horas cada semana.

Desarrollo del programa de la fuerza de trabajo Suponga que estamos interesados en desarrollar una programación de la fuerza de trabajo para una compañía que opera siete días de la semana y proporciona a cada empleado dos días de descanso consecutivos. En esta sección, presentamos un método que reconoce esta restricción. El objetivo es identificar los dos días libres consecutivos para cada empleado que minimicen la cantidad total de capacidad de holgura y con ello maximicen la utilización de la fuerza de trabajo. El horario de trabajo para cada empleado es entonces los cinco días que quedan después de que se han determinado los dos días de descanso. El procedimiento consiste en los siguientes pasos:

Paso 1. A partir del programa de requerimientos netos para la semana, encontrar todos los pares de días consecutivos, excluyendo el día (o los días) con el requerimiento máximo diario. Seleccione el par único que tiene los requerimientos netos menores para los dos días. En algunas situaciones inusuales, todos los pares pueden contener un día con los requerimientos máximos. Si es así, seleccione el par con los requerimientos mínimos totales más bajos. Suponga que el número de empleados requeridos es como sigue:

Lunes: 8	Jueves: 12	Sábado: 4
Martes: 9	Viernes: 7	Domingo: 2
Miércoles: 2		

El requerimiento máximo diario es de 12 empleados en jueves. Los pares consecutivos con los requerimientos totales más bajos son sábado y domingo, con $4 + 2 = 6$.

Paso 2. Si ocurre un empate, se elige uno de los pares empatados, congruente con las previsiones escritas en el acuerdo laboral, si lo hay. De otra manera, el empate se puede romper pidiendo al empleado que se está programando que elija. Como último recurso, el empate se puede romper de manera arbitraria. Por ejemplo, puede darse preferencia a los pares sábado-domingo.

Paso 3. Se asigna al empleado el par de días libres seleccionado. Se restan los requerimientos satisfechos por el empleado de los requerimientos netos para cada día que el empleado debe trabajar. En este ejemplo se asignó al empleado sábado y domingo libres. Después de restar los requerimientos, el requerimiento del lunes es 7, el del martes es 8, el del miércoles es 1, el del jueves es 11 y el viernes es 6. Los requerimientos de sábado y domingo no cambian porque todavía no se asignan empleados para trabajar esos días.

Paso 4. Repita los pasos 1 a 3 hasta que todos los requerimiento se hayan satisfecho o se haya programado cierto número de empleados.

Este método reduce la cantidad de capacidad holgada asignada a los días con requerimientos bajos y fuerza a que el día con requerimientos altos se programe primero. También reconocen algunos aspectos de comportamiento y contractuales de la programación de la fuerza de trabajo en las reglas para romper empates.

EJEMPLO 15.2 Desarrollo de horarios para la fuerza de trabajo

Amalgamated Parcel Service está abierto los siete días de la semana. El programa de requerimientos es:

Día	L	M	M	J	V	S	D
Número de empleados requeridos	6	4	8	9	10	3	2

El administrador necesita una programación de la fuerza de trabajo que proporcione dos días consecutivos de descanso y minimice la cantidad total de capacidad sobrada. Para romper empates en la selección de días de descanso, el programador da preferencia a sábado y domingo si es uno de los pares empatados. Si no lo es, selecciona uno de los pares empatados de manera arbitraria.

MyOMLab
El tutor 15.3 en MyOMLab proporciona un nuevo ejemplo para practicar la programación de la fuerza de trabajo.

SOLUCIÓN

El viernes tiene los requerimientos máximos y el par S-D tiene los requerimientos totales más bajos. Entonces, el empleado 1 se programa para trabajar del lunes a viernes.

Observe que el viernes todavía tiene el requerimiento máximo y que los requerimientos para sábado y domingo se quedan como estaban porque son los días libres del empleado 1. Estos requerimientos actualizados son los que el programador utiliza para el siguiente empleado.

Las asignaciones de días libres para el siguiente empleado se muestran en la siguiente tabla:

PROGRAMACIÓN DE DÍAS LIBRES

L	M	M	J	V	S	D	Empleado	Comentarios
6	4	8	9	10	3	2	**1**	El par S-D tiene los requerimientos totales más bajos. Se asigna al empleado **1** a trabajar de lunes a viernes y se actualizan los requerimientos.
5	3	7	8	9	3	2	**2**	El par S-D tiene los requerimientos totales más bajos. Se asigna al empleado **2** a trabajar de lunes a viernes y se actualizan los requerimientos.
4	2	6	7	8	3	2	**3**	El par S-D tiene los requerimientos totales más bajos. Se asigna al empleado **3** a trabajar de lunes a viernes y se actualizan los requerimientos.
3	1	5	6	7	3	2	**4**	El par L-M tiene los requerimientos totales más bajos. Se asigna al empleado **4** a trabajar de miércoles a domingo y se actualizan los requerimientos.
3	1	4	5	6	2	1	**5**	El par S-D tiene los requerimientos totales más bajos. Se asigna al empleado **5** a trabajar de lunes a viernes y se actualizan los requerimientos.
2	0	3	4	5	2	1	**6**	El par L-M tiene los requerimientos totales más bajos. Se asigna al empleado **6** a trabajar de miércoles a domingo y se actualizan los requerimientos.
2	0.	2	3	4	1	0	**7**	El par S-D tiene los requerimientos totales más bajos. Se asigna al empleado **7** a trabajar de lunes a viernes y se actualizan los requerimientos.
1	0	1	2	3	1	0	**8**	Cuatro pares tienen los requerimientos mínimos y el total más bajo: S-D, D-L. L-M y M-Mi. Se elige el par S-D según la regla para romper empates. Se asigna al empleado **8** a trabajar de lunes a viernes y se actualizan los requerimientos.
0	0	0	1	2	1	0	**9**	Se elige arbitrariamente el par D-L para romper el empate porque S-D, ya no tiene los requerimientos totales más bajos. Se asigna al empleado **9** a trabajar de martes a sábado y se actualizan los requerimientos.
0	0	0	0	1	0	0	**10**	Se elige el par S-D de acuerdo con la regla para romper empates. Se asigna al empleado **10** a trabajar de lunes a viernes.

En este ejemplo, el viernes siempre tiene el máximo requerimiento y debe evitarse como día libre. La programación final para los empleados se muestra en la siguiente tabla:

PROGRAMACIÓN FINAL

Empleado	L	M	M	J	V	S	D	Total
1	X	X	X	X	X	libre	libre	
2	X	X	X	X	X	libre	libre	
3	X	X	X	X	X	libre	libre	
4	libre	libre	X	X	X	X	X	
5	X	X	X	X	X	libre	libre	
6	libre	libre	X	X	X	X	X	
7	X	X	X	X	X	libre	libre	
8	X	X	X	X	X	libre	libre	
9	libre	X	X	X	X	X	libre	
10	X	X	X	X	X	libre	libre	
Capacidad, C	7	8	10	10	10	3	2	50
Requerimientos, R	6	4	8	9	10	3	2	42
Holgura, C — R	1	4	2	1	0	0	0	8

PUNTO DE DECISIÓN

Con esta cantidad sustancial de capacidad sobrada, el horario no es único. Por ejemplo, el empleado 9 pudo tener domingo y lunes, lunes y martes o martes y miércoles sin que hubiera faltantes de capacidad. Sin duda, la compañía puede funcionar con un empleado menos debido al total de ocho días de holgura en la capacidad. No obstante, los viernes se necesitan los 10 empleados o, si alguien puede trabajar un día de tiempo extra rotatorio, no se necesitaría el empleado 10. Como se indica en la tabla, el requerimiento neto que queda para el empleado 10 que satisfaga las cantidades se reduce a solo un día, los viernes. Entonces, el empleado 10 se puede usar para llenar tiempos de vacaciones o días de enfermedad.

wavebreakmedia ltd/Shutterstock.com

Los administradores intentan tener personal en sus centros de llamadas para satisfacer ciertas medidas de desempeño. Una de esas medidas es el porcentaje de llamadas contestadas (PLC) dentro de un intervalo de tiempo especificado, llamado objetivo de servicio (OS). En general, en un centro de llamadas, el PLC es del orden de 80 a 90% y el OS es de 15 a 30 segundos. El problema es que existen requerimientos para cambio de agentes en el tiempo, dependiendo de la hora del día y del día del año. Además, es posible que los que llaman hablen idiomas diferentes. Determinar cuántos agentes de cada grupo tener a la mano en todo momento no es sencillo. Por fortuna, se dispone de software para programación de empleados que estima volumen de llamadas y los requerimientos de habilidades para el proyecto e identifica los tiempos de inicio y terminación de los empleados o los días libres preferidos.

Secuenciación de tareas en una estación de trabajo

Otro aspecto de la programación es la secuenciación de tareas en las estaciones de trabajo. La **secuenciación** determina el orden en el que se procesan las tareas o los clientes que hay en la línea de espera en una estación de trabajo. Cuando se combinan con el tiempo de procesamiento esperado, la secuencia permite estimar los tiempos de inicio y terminación de cada trabajo.

secuenciación
Determinación del orden en el que se procesan las tareas o los clientes que hay en la línea de espera en una estación de trabajo.

regla de prioridades de la secuenciación
Regla que especifica la secuencia de procesamiento de tareas o clientes cuando varios de ellos están en línea de espera en una estación de trabajo.

primero en entrar, primero en ser atendidos (PEPS)
Regla de prioridad de la secuencia que especifica que el trabajo o cliente que llega primero a la estación de trabajo tienen la prioridad más alta.

fecha de vencimiento más cercana (EDD)
Regla de prioridad de la secuencia que especifica que el trabajo o cliente con la fecha de vencimiento más cercana es el siguiente trabajo que debe procesarse.

aceleración
Proceso de completar un trabajo o terminar con un cliente más pronto que en el tiempo normal.

tiempo de flujo
El tiempo que pasa un trabajo en el sistema de servicio o manufactura.

Regla de prioridades de la secuenciación Una manera de determinar qué trabajo o cliente se debe procesar enseguida, es con la ayuda de una **regla de prioridades de la secuenciación**. Las siguientes dos reglas de prioridades son de uso común en la práctica.

- *Primero en entrar, primero en ser atendido.* El trabajo o cliente que llega primero a la estación de trabajo tiene la prioridad más alta según la regla de **primero en entrar, primero en ser atendido (PEPS)**. Esta regla es la más "democrática" en cuanto a que cada trabajo se trata con igualdad, sin que nadie adelante a otros que ya están en la línea. Es de uso común en las instalaciones de servicio y es la regla que se da por supuesta en el suplemento B, "Líneas de espera".
- *Fecha de vencimiento más cercana.* El trabajo o el cliente con la **fecha de vencimiento más cercana (EDD)** que debe procesarse enseguida. La *fecha de vencimiento* especifica cuándo debe estar terminado el trabajo con el producto o cliente. Es común que los fabricantes y proveedores en la cadena de suministro utilicen las fechas de vencimiento. Por ejemplo, un producto no se puede ensamblar sino hasta que sus componentes compradas y producidas están disponibles. Si estos componentes no están ya en inventario, deben ordenarse antes de que pueda comenzar el ensamblaje del producto. Su fecha de vencimiento es la fecha de inicio para ensamblar el producto. Esta sencilla relación es fundamental para coordinar a los proveedores y las propias plantas del fabricante en la cadena de suministros. También la **aceleración** es clave, que es el proceso de completar un trabajo más pronto de lo que se haría de otra forma. La aceleración se puede lograr revisando las fechas de vencimiento, moviendo el trabajo al frente de la línea de espera, haciendo una petición especial por teléfono o por correo electrónico al proveedor o incluso poniendo una tarjeta roja en el trabajo que dice que es urgente.

Ninguna de las reglas garantiza encontrar una solución óptima. Las diferentes secuencias encontradas por prueba y error pueden producir mejores programas. De hecho, existen múltiples medidas de desempeño para juzgar una programación. Un programa que funciona bien en una medida puede hacerlo mal en otra.

Medidas de desempeño La calidad de un programa se puede juzgar de varias maneras. Dos medidas de desempeño son el tiempo de flujo y el retardo.

- *Tiempo de flujo.* El tiempo que un trabajo pasa en el sistema de servicio o manufactura se llama **tiempo de flujo**. Es la suma del tiempo de espera para los servidores o las máquinas; el tiempo de proceso, incluyendo las preparaciones; el tiempo que pasa en el movimiento entre las operaciones y los retrasos que resultan de las descomposturas de las máquinas, la falta de disponibilidad de los bienes que facilitan, o componentes y cosas por el estilo. El tiempo de flujo algunas veces se llama *tiempo de salida* o *tiempo de permanencia en el sistema, incluyendo el servicio*. Para un conjunto de trabajos que deben procesarse en una sola estación de trabajo, el tiempo de flujo de un trabajo es:

  Tiempo de flujo = tiempo de terminación + tiempo desde que el trabajo llegó a la estación

  Cuando usamos esta ecuación, suponemos por conveniencia que el primer trabajo programado comienza en el tiempo cero (0). En el tiempo 0, todos los trabajos estaban disponibles para procesamiento en la estación de trabajo.

retardo
Tiempo por el que un trabajo pierde la fecha de vencimiento.

tardanza
Véase retardo.

- *Retardo.* El **retardo** se puede expresar como el tiempo por el cual un trabajo no estuvo listo en su fecha de vencimiento (también conocido como **tardanza**) o como el porcentaje del total de trabajos procesados en un periodo que no estuvieron listos en su fecha de vencimiento. Minimizar estas medidas de retardo apoya las prioridades de competitividad de costo (penalizaciones por los retardos), de calidad (percepciones de mal servicio) y tiempo (entrega a tiempo).

EJEMPLO 15.3 Uso de dos reglas de secuenciación prioritaria

Actualmente una compañía consultora tiene cinco trabajos retrasados. El tiempo desde que se colocó la orden, el tiempo de proceso y las fechas de entrega prometidas se dan en la siguiente tabla. Determine el programa utilizando la regla PEPS y calcule el promedio de retardos y el tiempo de flujo. ¿Cómo puede mejorarse el programa si el tiempo de flujo promedio es lo más crítico?

Cliente	Tiempo desde que llegó la orden (en días)	Tiempo de proceso (días)	Fecha de entrega (días hasta hoy)
A	15	25	29
B	12	16	27
C	5	14	68
D	10	10	48
E	0	12	80

SOLUCIÓN

a) La regla PEPS establece que el cliente A debe ser el primero en la secuencia, porque esa orden llegó antes: *hace 15 días. La orden del cliente E llegó hoy, por lo que se procesa al último. La secuencia* se encuentra en la siguiente tabla, con los días de retardo y los tiempos de flujo.

Secuencia de clientes	Tiempo de inicio (días)		Tiempo de procesado (días)		Tiempo de terminación (días)	Fecha de entrega	Días de retardo	Días desde que llegó la orden	Tiempo de flujo (días)
A	0	+	25	=	25	29	**0**	15	**40**
B	25	+	16	=	41	27	**14**	12	**53**
D	41	+	10	=	51	48	**3**	10	**61**
C	51	+	14	=	65	68	**0**	5	**70**
E	65	+	12	=	77	80	**0**	0	**77**

El *tiempo de terminación* para un trabajo es su tiempo de inicio más el tiempo para procesarlo. Su tiempo de terminación se convierte en el tiempo de inicio para el siguiente trabajo en la secuencia, suponiendo que el siguiente trabajo está *disponible para procesamiento inmediato. Los días de retardo para un trabajo son cero* (0) si su fecha de entrega es igual o posterior a su tiempo de terminación. De otra manera, es igual al retraso. El tiempo de flujo de cada trabajo es igual a su tiempo de terminación más los días desde que llegó la orden a la estación de trabajo. Por ejemplo, el tiempo de flujo para el cliente C es su tiempo de terminación programado de 65 días *más los cinco días desde que llegó la orden*, es decir, 70 días. Las medidas de desempeño, días de retardo y tiempo de flujo promedio para la programación PEPS son:

$$\text{Días de retardo promedio} = \frac{0 + 14 + 3 + 0 + 0}{5} = 3.4 \text{ días}$$

$$\text{Tiempo de flujo promedio} = \frac{40 + 53 + 61 + 70 + 77}{5} = 60.2 \text{ días}$$

b) El tiempo de flujo promedio se puede reducir. Una posibilidad es la secuencia mostrada en la siguiente tabla, que utiliza el *tiempo de procesado más corto* (SPT) y que es una de varias reglas que se desarrollan con más detalle en el suplemento J, "Programación de operaciones", de MyOMLab. (Una posibilidad más se puede ver en el problema resuelto 3 que aplica la regla EDD).

MyOMLab

Secuencia de clientes	Tiempo de inicio (días)		Tiempo de procesado (días)		Tiempo de terminación (días)	Fecha de vencimiento	Días de retardo	Días desde que llegó la orden	Tiempo de flujo (días)
D	0	+	10	=	10	48	**0**	10	**20**
E	10	+	12	=	22	80	**0**	0	**22**
C	22	+	14	=	36	68	**0**	5	**41**
B	36	+	16	=	52	27	**25**	12	**64**
A	52	+	25	=	77	29	**48**	15	**92**

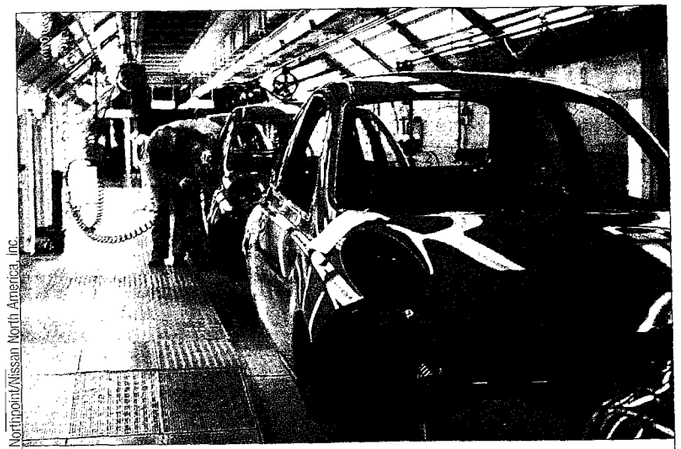
$$\text{Días de retardo promedio} = \frac{0 + 0 + 0 + 25 + 48}{5} = 14.6 \text{ días}$$

$$\text{Tiempo de flujo promedio} = \frac{20 + 22 + 41 + 64 + 92}{5} = 47.8 \text{ días}$$

Esta programación reduce el tiempo de flujo promedio de 60.2 a 47.8 días: una mejora de 21%. Sin embargo, los días de retardo para los trabajos de A y B se han incrementado.

PUNTO DE DECISIÓN

La administración decide utilizar la versión modificada de la segunda programación cuando el cliente B está en proceso. Más aún, el cliente A está de acuerdo en extender su fecha de entrega a 77 días, porque en este caso la advertencia previa le permitió reprogramar sus propias operaciones con pocos problemas.



Northpoint/Nissan North America, Inc.

Cuando Nissan introdujo el Almera en el mercado europeo, decidió producirlo en la más *eficiente* de sus plantas, en Sunderland, Reino Unido. Ya se fabricaban los modelos Micra y Primera ahí. La programación de varios vehículos es bastante compleja por todas las restricciones involucradas. La parte de pintura es particularmente tardada, pero es solo una de miles de tareas que la planta debe programar para que sea eficiente. Un paquete de software, llamado ILOG Solver, ayuda en el proceso de programación para obtener un flujo coordinado.

Apoyo de software

Existen sistemas de programación computarizados para hacer frente a las complejidades de la programación de la fuerza de trabajo, como la miríada de restricciones y preocupaciones de Air New Zealand. En algunos tipos de empresas, como las compañías telefónicas, casas de órdenes por catálogo o agencias de llamadas de emergencias los empleados deben estar de guardia 24 horas al día, siete días de la semana.

Algunas veces una parte del personal es de tiempo parcial, lo que da una gran flexibilidad a los administradores pero añade mucha complejidad a los requerimientos de programación. La flexibilidad se debe a la oportunidad de igualar las cargas de trabajo anticipadas durante los turnos que se traslapan o longitudes de turnos no usuales; la complejidad se debe a la necesidad de evaluar numerosas alternativas. La administración también debe considerar los tiempos de descanso o comida, el número y los tiempos de inicio de los horarios de turnos y los días libres de cada empleado. Los programas seleccionan los horarios que minimizan la suma de los costos esperados de personal en exceso y faltante.

También existe software para la secuenciación de trabajos en las estaciones de trabajo. Estos ayudan a las empresas a diseñar y administrar los vínculos entre los clientes y los proveedores en la cadena de suministro. Así, la integración verdadera requiere la manipulación de grandes cantidades de datos en tiempo real porque el flujo de la orden de un cliente debe sincronizarse con el material requerido, la manufactura y la actividad de distribución. Acoplado con Internet, el almacenamiento de datos mejorado y los métodos de manipulación, como el software de computadora, han dado lugar a los **sistemas de planeación y programación avanzada (APS)**, que buscan optimizar los recursos en toda la cadena de suministro y alinear las operaciones diarias con las metas estratégicas. La habilidad de una empresa para cambiar su programación con rapidez y mantener los bienes y servicios fluyendo suavemente por toda la cadena da a la cadena de suministros una ventaja competitiva.

sistemas de planeación y programación avanzada (APS)
Sistemas de software de computadora que buscan optimizar los recursos en toda la cadena de suministros y alinear las operaciones diarias con las metas estratégicas.

REPASO DE LAS METAS DE APRENDIZAJE

1. **Describir el proceso de planeación y programación de operaciones.** La sección "Etapas en la planeación y programación de operaciones" (pp. 509-511) muestra las diferentes etapas y cómo se relacionan con otros planes de la organización. Ponga atención especial en la figura 15.1.
2. **Explicar por qué el proceso de *correspondencia* entre la oferta y la demanda comienza en el nivel agregado.** La agregación permite establecer el curso general de acción sin estancarse en los detalles. La sección "Agregación" (p. 509) muestra que agregar se realiza en las tres dimensiones: familias de producto, estación de trabajo y tiempo.
3. **Identificar las diferentes opciones de demanda y oferta.** Las secciones "Administración de la demanda" y "Planes de ventas y operaciones" (pp. 511-521) describen las diferentes opciones con sus aspectos positivos y negativos. Centre su atención en la tabla 15.2 que contiene una lista completa.
4. **Explicar la relación entre los planes y programas de las operaciones con otros planes.** La figura 15.2 muestra la relación de los planes de ventas y operaciones con otras áreas funcionales. Además revise la sección "Relación de los planes y programas de las operaciones con otros planes" (pp. 509-511).
5. **Utilizar hojas de cálculo para crear los planes de ventas y operaciones.** Revise "Utilización de hojas de cálculo" (pp. 518-521) para comprender mejor cómo usar esta herramienta. El problema resuelto 1 también es útil.
6. **Desarrollar la programación de empleados.** La sección acerca de "Programación de empleados" (pp. 522-525) describe cómo crear un programa para la estación de trabajo. Véase también el ejemplo 15.2 (pp. 524-525) y el problema resuelto 2 (pp. 531-532).
7. **Desarrollar programas para las estaciones de trabajo individuales.** Las reglas PEPS y FEC y las medidas de desempeño de los tiempos de flujo y retardos se describen en "Secuenciación de tareas en una estación de trabajo" (pp. 525-527). El ejemplo 15.3 ilustra su utilización con el problema resuelto 3.

MyOMLab le ayuda a desarrollar habilidades analíticas y evalúa su avance con diversos problemas sobre planes de estrategias de nivelar, persecución y mixtas, costos totales, inventario de previsión, análisis de punto de equilibrio, reglas de programación PEPS y EDD, tiempo de flujo promedio y días de retardo o tardanza promedio.

Recursos de MyOMLab	Títulos	Vínculos con el libro
Videos	Air New Zealand: programación de servicio	Planeación y programación de operaciones en toda la organización; Etapas en la planeación y programación de operaciones;
	Planeación de ventas y operaciones en Starwood	Etapas en la planeación y programación de operaciones; opciones de demanda
Ejercicios de modelo activo	15.1 Estrategia de nivelar	Estrategias de planeación; ejemplo 15.1 (pp. 519-521)
Solvers de OM Explorer	Planeación de ventas y operaciones con hojas de cálculo	Utilización de hojas de cálculo; figura 15.3 (p. 510); figura 15.4 (p. 518); problema resuelto 1 (pp. 530-531)
	Programador de la fuerza de trabajo	Programación de empleados; ejemplo 15.2 (pp. 524-525); problema resuelto 2
	Programador de una sola estación de trabajo	Secuenciación de tareas en una estación de trabajo; ejemplo 15.3 (pp. 526-627); problema resuelto 3 (p. 533)
Tutores de OM Explorer	15.1 Estrategia de persecución	*Estrategias de planeación; ejemplo 15.1 (pp. 519-521); problema resuelto 1*
	15.2 Estrategia al nivel de utilización	Estrategias de planeación; ejemplo 15.1 (pp. 519-521); problema resuelto 1
	15.3 *Desarrollo de un programa para la fuerza de trabajo*	*Programación de empleados; ejemplo 15.2 (pp. 524-525);* problema resuelto 2
	15.4 *Estrategias de personal con hojas de cálculo (4 pds)*	*Programación de empleados; ejemplo 15.2 (pp. 524-525);* problema resuelto 2
Ejercicios de tutores	15.1 Resultados de diferentes escenarios con una estrategia de nivelación	Estrategias de planeación; ejemplo 15.1 (pp. 519-521); problema resuelto 2
	15.2 *Personal para la clase más nueva de la maestría en administración*	Programación de empleados; ejemplo 15.2 (pp. 524-525)
POM para Windows	Programación	Secuenciación de tareas en una estación de trabajo; ejemplo 15.3 (pp. 526-627); problema resuelto 3 (p. 533)
Tours virtuales	Straton Furniture Company	Etapas en la planeación y programación de operaciones; opciones de demanda; opciones de oferta; estrategias de planeación
	Stihl Chain Saws	
	Stihl Factory Tour	
Suplementos de MyOMLab	H. Medición de tasas de salida	Suplemento H de MyOMLab
	I. Análisis de curva de aprendizaje	Suplemento I de MyOMLab
Ejercicios en Internet	United Parcel Service (UPS)	Administración de la demanda; Opciones de suministro; Estrategias de planeación
	Centros de United Parcel Service	
	Servicio de Impuestos Internos	*Administración de la demanda; Opciones de suministro;* Estrategias de planeación
	H&R Block	
	Hoovers	
Caso adicional	Food King	Programación de empleados; ejemplo 15.2 (pp. 524-525)
Ecuaciones clave		
Biblioteca de imágenes		

Términos clave

aceleración 526
administración de la demanda 511
administración del ingreso 512
contratación y despido 516
estrategia al nivel de utilización 513
estrategia de persecución 515
estrategia mixta 516
familia de productos 509
fecha de vencimiento más cercana (EDD) 526
horario fijo 523
horario rotatorio 523
inventario almacenado 516
órdenes atrasadas 513
órdenes pendientes y faltantes 516
plan agregado 509
plan anual o plan financiero 510
plan de negocios 509
plan de personal 509
plan de producción 509
plan de recursos 509
plan de ventas y operaciones (PVyO) 509
planeación y programación de las operaciones 508
primero en entrar, primero en ser atendido (PEPS) 526
productos complementarios 511
programación de la estación de trabajo 522
regla de prioridades de la secuenciación 526
retardo 526
secuenciación 525
sistemas de planeación y programación avanzada (APS) 528
tardanza 526
tiempo de flujo 526
tiempo extra 514
tiempo improductivo 515
tiempo normal 516

Problema resuelto 1

MyOMLab
El tutor 15.4 en MyOMLab proporciona otro ejemplo para practicar la planeación de ventas y operaciones utilizando varias estrategias.

Cranston Telephone Company emplea trabajadores que tienden cables telefónicos y realizan otras tareas de construcción. La compañía está orgullosa de sí misma por el buen servicio y se esfuerza por completar todas las órdenes de servicio dentro del periodo de planeación en el que se reciben.

Cada trabajador pone 600 horas de tiempo normal por periodo de planeación y pueden trabajar hasta 100 horas de tiempo extra. El departamento de operaciones ha estimado los siguientes requerimientos de la fuerza de trabajo para estos servicios durante los siguientes cuatro periodos de planeación:

Periodo de planeación	1	2	3	4
Demanda (horas)	21,000	18,000	30,000	12,000

Cranston paga los salarios de tiempo normal de $6,000 por empleado por periodo por cualquier tiempo trabajado hasta 600 horas (incluyendo tiempo improductivo). La tasa de pago por tiempo extra es $15 por hora después de 600 horas. Contratar, capacitar y vestir a un empleado nuevo cuesta $8,000. Los costos de despido son $2,000 por empleado. En la actualidad, 40 empleados trabajan para Cranston de esta manera. No se permiten retrasos en el servicio ni órdenes pendientes. Utilice una hoja de cálculo para responder a las siguientes preguntas:

a) Prepare una estrategia de persecución utilizando contratación y despidos. ¿Cuál es el número total de empleados contratados y despedidos?

b) Desarrolle un plan de la fuerza de trabajo que utilice la estrategia al nivel de utilización, solo con el apoyo de tiempo extra y tiempo improductivo. Maximice el uso de tiempo extra durante el periodo pico para minimizar el nivel de la fuerza de trabajo y la cantidad de tiempo improductivo.

c) Proponga un plan efectivo de estrategia mixta.

d) Compare los costos totales de los tres planes.

SOLUCIÓN

a) La estrategia de persecución para la fuerza de trabajo se calcula dividiendo la demanda para cada periodo entre 600 horas, o sea, la cantidad de tiempo normal para un empleado durante un periodo. Esta estrategia exige un total de 20 trabajadores contratados y 40 despedidos durante los cuatro periodos del plan. La figura 15.9 muestra la solución de la "estrategia de persecución" que produce el Solver de *Planeación de ventas y operaciones con hojas de cálculo* (*Sales and Operations Planning with Spreadsheets*) de OM Explorer. Simplemente se ocultan las columnas y renglones que no se necesitan en esta hoja con fines generales.

FIGURA 15.9 ▶
Hoja de cálculo para la estrategia de persecución

	1	2	3	4	Total
Entradas					
Demanda pronosticada	35	30	50	20	135
Nivel de fuerza de trabajo	35	30	50	20	135
Tiempo improductivo	0	0	0	0	0
Tiempo extra	0	0	0	0	0
Derivados					
Tiempo utilizado	35	30	50	20	135
Contrataciones	0	0	20	0	20
Despidos	5	5	0	30	40
Calculados					
Costo tiempo utilizado	$210,000	$180,000	$300,000	$120,000	$810,000
Costo tiempo improductivo	$0	$0	$0	$0	$0
Costo tiempo extra	$0	$0	$0	$0	$0
Costo de contrataciones	$0	$0	$160,000	$0	$160,000
Costo de despidos	$10,000	$10,000	$0	$60,000	$80,000
Costo total	$220,000	190,000	460,000	180,000	$1,050,000

b) La demanda pico es 30,000 horas en el periodo 3. Como cada empleado puede trabajar 700 horas por periodo (600 en tiempo normal y 100 de tiempo extra), el nivel de la fuerza de trabajo con la estrategia al nivel de utilización que minimiza el tiempo improductivo es 30,000/700 = 42.86 o 43 empleados. Esta estrategia pide que se contrate a tres empleados en el primer trimestre y que haya cero despidos. Para convertir los requerimientos de demanda en empleados por periodo equivalentes, divida la demanda en horas entre 600. Por ejemplo, la demanda de 21,000 horas en el periodo 1 se traduce en 35 empleados-periodo equivalentes (21,000/600) y la demanda en el periodo 3 se traduce en 50 empleados-periodo equivalentes (30,000/600). La figura 15.10 muestra la hoja de cálculo de OM Explorer para esta estrategia al nivel de utilización que minimiza el tiempo improductivo.

	1	2	3	4	Total
Entradas					
Demanda pronosticada	35	30	50	20	135
Nivel de fuerza de trabajo	43	43	43	43	172
Tiempo improductivo	8	13	0	23	44
Tiempo extra	0	0	7	0	7
Derivados					
Tiempo utilizado	35	30	43	20	128
Contrataciones	3	0	0	0	3
Despidos	0	0	0	0	0
Calculados					
Costo tiempo utilizado	$210,000	$180,000	$258,000	$120,000	$768,000
Costo tiempo improductivo	$48,000	$78,000	$0	$138,000	$264,000
Costo tiempo extra	$0	$0	$63,000	$0	$63,000
Costo de contrataciones	$24,000	$0	$0	$0	$24,000
Costo de despidos	$0	$0	$0	$0	$0
Costo total	$282,000	258,000	321,000	258,000	$1,119,000

◀ **FIGURA 15.10**
Hoja de cálculo para la estrategia al nivel de utilización

c) El plan de estrategia mixta que proponemos utiliza una combinación de contrataciones, despidos y tiempo extra para reducir los costos totales. La fuerza de trabajo se reduce en cinco al principio del primer periodo, aumenta en ocho en el tercer periodo y se reduce en 13 en el cuarto periodo. La figura 15.11 muestra los resultados.

	1	2	3	4	Total
Entradas					
Demanda pronosticada	35	30	50	20	135
Nivel de fuerza de trabajo	35	35	43	30	143
Tiempo improductivo	0	5	0	10	15
Tiempo extra	0	0	7	0	7
Derivados					
Tiempo utilizado	35	30	43	20	128
Contrataciones	0	0	8	0	8
Despidos	5	0	0	13	18
Calculados					
Costo tiempo utilizado	$210,000	$180,000	$258,000	$120,000	$768,000
Costo tiempo improductivo	$0	$30,000	$0	$60,000	$90,000
Costo tiempo extra	$0	$0	$63,000	$0	$63,000
Costo de contrataciones	$0	$0	$64,000	$0	$64,000
Costo de despidos	$10,000	$0	$0	$26,000	$36,000
Costo total	$220.000	210,000	385,000	206,000	$1,021,000

◀ **FIGURA 15.11**
Hoja de cálculo para la estrategia mixta

d) El costo total de la estrategia de persecución es $1,050,000. Los resultados de la estrategia al nivel de utilización son un costo total de $1,119,000. El plan de estrategia mixta se desarrolló por prueba y error y da como resultado un costo total de $1,021,000. Es posible lograr mejoras.

Problema resuelto 2

La tienda de abarrotes Food Bin opera 24 horas por día, siete días a la semana. Fred Bulger, el administrador de la tienda, hizo un análisis reciente de la eficiencia y la productividad de las operaciones de la tienda. Bulger decidió observar la necesidad de cajeros en el primer turno durante un periodo de un mes, al final del mes calculó el número promedio de cajas que debía abrir durante el primer turno del día. Sus resultados muestran el pico en las necesidades en sábado y domingo.

Día	L	M	M	J	V	S	D
Número de cajas requerido	3	4	5	5	4	7	8

Bulger ahora quiere tener un programa de la fuerza de trabajo que garantice a cada cajero dos días consecutivos libres y que cubra todos los requerimientos.

a) Desarrolle un programa para la fuerza de trabajo que cubra todos los requerimientos al tiempo que otorga dos días libres consecutivos a cada cajero. ¿Cuántos cajeros necesita? Suponga que los cajeros no tienen preferencia respecto a los días que tienen libres.

b) Es posible hacer planes para utilizar a los cajeros en otras tareas si se puede determinar el tiempo improductivo u ocioso resultado de esta estrategia. ¿Cuánto tiempo ocioso existe en esta programación y qué días?

SOLUCIÓN

a) Utilizamos el método mostrado en el ejemplo 15.2 para determinar el número de cajeros necesarios. El número mínimo de personas es ocho.

	DÍA						
	L	**M**	**M**	**J**	**V**	**S**	**D**
Requerimientos	3	4	5	5	4	7	8*
Cajero 1	libre	libre	X	X	X	X	X
Requerimientos	3	4	4	4	3	6	7*
Cajero 2	libre	libre	X	X	X	X	X
Requerimientos	3	4	3	3	2	5	6*
Cajero 3	X	X	X	libre	libre	X	X
Requerimientos	2	3	2	3	2	4	5*
Cajero 4	X	X	X	libre	libre	X	X
Requerimientos	1	2	1	3	2	3	4*
Cajero 5	X	libre	libre	X	X	X	X
Requerimientos	0	2	1	2	1	2	3*
Cajero 6	libre	libre	X	X	X	X	X
Requerimientos	0	2*	0	1	0	1	2*
Cajero 7	X	X	libre	libre	X	X	X
Requerimientos	0	1*	0	1*	0	0	1*
Cajero 8	X	X	X	X	libre	libre	X
Requerimientos	0	0	0	0	0	0	0

*Requerimientos máximos

b) Con base en los resultados en el inciso *a*), el número de cajeros en servicio, menos los requerimientos, es el número de cajeros ociosos disponibles para otras tareas:

	L	**M**	**M**	**J**	**V**	**S**	**D**
Número en servicio	5	4	6	5	5	7	8
Requerimientos	3	4	5	5	4	7	8
Cajeros ociosos	2	0	1	0	1	0	0

La holgura en esta programación indica a Bulger el número de empleados a los que puede pedir que trabajen tiempo parcial (menos de cinco días por semana). Por ejemplo, el cajero siete puede trabajar el martes, sábado y domingo y el cajero ocho podría trabajar martes, jueves y domingo. Eso eliminaría el tiempo improductivo de la programación.

Problema resuelto 3

Revise el ejemplo 15.3, donde la compañía consultora tiene cinco trabajos en sus órdenes pendientes. Desarrolle un programa utilizando la regla de la EDD, calcule los días vencidos promedio y el tiempo de flujo. En este caso, ¿funciona mejor la regla EDD que la regla PEPS?

SOLUCIÓN

Secuencia de clientes	Tiempo de inicio (días)		Tiempo de procesado (días)		Tiempo de terminación (días)	Fecha de entrega	Tardanza	Días desde que llegó la orden	Tiempo de flujo (días)
B	0	+	16	=	16	27	**0**	12	**28**
A	16	+	25	=	41	29	**12**	15	**56**
D	41	+	10	=	51	48	**3**	10	**61**
C	51	+	14	=	65	68	**0**	5	**70**
E	65	+	12	=	77	80	**0**	0	**77**

Las medidas de desempeño de días de retardo y tiempo de flujo promedio para la EDD son:

$$\text{Días de retardo promedio} = \frac{0+12+3+0+0}{5} = 3.0 \text{ días}$$

$$\text{Tiempo de flujo promedio} = \frac{28+56+61+70+77}{5} = 58.4 \text{ días}$$

Para ambas medidas, la EDD es mejor que la PEPS (3.0 contra 3.4 días vencidos y 58.4 contra 60.2 de tiempo de flujo). Sin embargo, la solución encontrada en el inciso *b*) del ejemplo 15.3 todavía tiene mejor flujo de tiempo promedio de solo 47.8 días.

Preguntas para análisis

1. Los métodos cuantitativos pueden ayudar al administrador a evaluar planes de ventas y operaciones alternativos con base en el costo. Estos métodos requieren estimaciones de costo para cada variable controlable, como tiempo extra, subcontratación, contratación, despidos e inversión en inventario. Digamos que la fuerza de trabajo existente tiene hasta 10,000 trabajadores, cada uno con habilidades valuadas en $40,000 por año. El plan pide "crear oportunidades de carreras alternativas"; en otras palabras, despedir a 500 empleados. Enumere los tipos de costos en que se incurre cuando se despide a los empleados y haga una estimación burda del tiempo requerido para que los ahorros en nómina recuperen los costos de la reestructuración. Si se espera que el negocio mejore en un año, ¿están justificados los despidos? ¿Cuáles son los costos en que se incurre en un recorte de personal que son difíciles de estimar en términos monetarios?

2. En su comunidad, algunos empleadores mantienen estable la fuerza de trabajo a toda costa y otros otorgan licencias y los llaman cuando parece que las cosas mejoran. ¿Cuáles son las diferencias en mercados, administración, productos, posición financiera, habilidades, costos y competencia que pueden explicar estos dos extremos en la política de personal?

3. Considere las políticas administrativas de ingresos utilizadas por Harrah's Cherokee Casino & Hotel, que se describieron en la práctica administrativa 15.1. Desde la perspectiva ética de un negocio, proporcione argumentos en pro de las políticas. Ahora presente argumentos opuestos.

4. Explique por qué la administración debe preocuparse por el sistema de prioridades en las organizaciones de servicios y manufactura.

Problemas

El OM Explorer y POM para Windows están disponibles para todos los estudiantes de la décima edición de este libro. Vaya a **www.pearsonhighered.com/krajewski** para bajar estos paquetes de computadora. Si compró MyOMLab, también tiene acceso al software de modelos activos y mucha ayuda para resolver los problemas siguientes. Verifique con su instructor la mejor manera de usar estos recursos. En muchos casos, el instructor le pedirá que comprenda cómo se hacen los cálculos a mano. Por lo menos, el software proporciona una verificación de sus cálculos. Cuando los cálculos son muy complejos y la meta es interpretar los resultados al tomar una decisión, el software sustituye por completo los cálculos manuales.

1. La división de mantenimiento de carreteras del municipio de Barberton se encarga de la reparación de caminos en la ciudad de Barberton y el área que la rodea. Cindy Kramer, directora de mantenimiento de carreteras, debe admitir entregar un plan de personal para el siguiente año, basado en un programa establecido de reparaciones y con el presupuesto de la ciudad. Kramer estima que las horas de mano de obra requeridas para los siguientes cuatro trimestres son 6,000, 12,000, 19,000 y 9,000, respectivamente. Cada uno de los 11 trabajadores en la fuerza de trabajo puede contribuir con 500 horas por trimestre. Los costos de nómina son $6,000 en salarios por trabajador por el

tiempo normal hasta 500 horas, con una tasa de pago de tiempo extra de $18 por hora adicional trabajada. El tiempo extra está limitado a 20% de la capacidad normal en cualquier trimestre. Aunque la capacidad de tiempo extra no utilizada no tiene costo, el tiempo normal no usado se paga a $12 por hora. El costo de contratar a un trabajador es $3,000 y el costo de despedir a un empleado es $2,000. La subcontratación no está permitida.

a) Encuentre un plan al nivel de la fuerza de trabajo que se apoye solo en el tiempo extra y la cantidad mínima de tiempo improductivo posible. El tiempo extra se puede usar hasta sus límites en cualquier trimestre. ¿Cuál es el costo total del plan y cuántas horas de tiempo improductivo requiere?

b) Utilice una estrategia de perseguir que varía el nivel de la fuerza de trabajo sin usar tiempo extra ni tiempo improductivo. ¿Cuál es el costo total de este plan?

c) Proponga un plan propio. Compare su plan con los de los incisos *a*) y *b*) y analice sus méritos comparativos.

2. El campo de golf Bob Carlton estima los siguientes requerimientos de fuerza de trabajo para sus servicios durante los próximos dos años.

Trimestre	1	2	3	4
Demanda (horas)	4,200	6,400	3,000	4,800
Trimestre	**5**	**6**	**7**	**8**
Demanda (horas)	4,400	6,240	3,600	4,800

Cada instructor certificado trabaja 480 horas de tiempo normal por trimestre y puede trabajar 120 horas de tiempo extra. Los salarios y prestaciones de tiempo normal cuestan a Carlton $7,200 por empleado por trimestre, por tiempo normal trabajado hasta 480 horas, con el costo de $20 por hora de tiempo extra. El tiempo normal no utilizado de los instructores certificados se paga a $15 por hora. No hay costo por la capacidad de tiempo extra no utilizada. El costo de contratar, capacitar y certificar a un nuevo empleado es $10,000. Los costos de despido son $4,000 por empleado. Actualmente, ocho empleados trabajan en estas actividades.

a) Encuentre el plan de la fuerza de trabajo utilizando una estrategia al nivel de utilización que no permita retrasos en el servicio. Debe apoyarse solo en tiempo extra y la cantidad mínima de tiempo improductivo necesaria. ¿Cuál es el costo total de este plan?

b) Utilice una estrategia de persecución que varía el nivel de la fuerza de trabajo sin usar tiempo extra no tiempo improductivo. ¿Cuál es el costo total de este plan?

c) Proponga un mejor plan y calcule su costo total.

3. Continúe con el problema 2, ahora suponga que se permite a Carlton emplear algunos instructores de tiempo parcial no certificados, siempre que representen no más de 15% de las horas totales de la fuerza de trabajo en cualquier trimestre. Cada instructor de tiempo parcial puede trabajar hasta 240 horas por trimestre, sin costo de tiempo extra ni tiempo improductivo. El costo de mano de obra para los instructores de tiempo parcial es $12 por hora. El costo de contratar y capacitar es de $2,000 por instructor no certificado y no hay costos de despido.

a) Proponga un plan de estrategia mixta de bajo costo y calcule su costo total.

b) ¿Cuáles son las principales ventajas y desventajas de tener una fuerza de trabajo con empleados regulares y temporales?

4. Donald Fertilizer Company produce fertilizantes químicos industriales. Los requerimientos de manufactura proyectados (en miles de galones) para los siguientes cuatro trimestres son 80, 50, 80 y 130, respectivamente. Se desea una fuerza de trabajo nivelada, apoyándose nada más en inventario de previsión como opción de suministro. Deben evitarse faltantes y órdenes pendientes, así como el tiempo extra y el tiempo improductivo.

a) Determine la tasa de producción trimestral requerida para cumplir la demanda total del año y minimizar el inventario de previsión que quedaría al final de cada año. El inventario inicial es cero.

b) Especifique el inventario de previsión que se producirá.

c) Suponga que se revisan los requerimientos para los siguientes cuatro trimestres como 80, 130, 50 y 80, respectivamente. Si la demanda total es la misma, ¿qué nivel de producción se necesita ahora, si se utiliza la misma estrategia que en el inciso *a*)?

5. La administración de Kerby Corporation ha determinado el siguiente programa de demanda agregada (en unidades):

Mes	1	2	3	4
Demanda	500	800	1,000	1,400
Mes	**5**	**6**	**7**	**8**
Demanda	2,000	3,000	2,700	1.500
Mes	**9**	**10**	**11**	**12**
Demanda	1.400	1,500	2,000	1,200

Un empleado puede producir un promedio de 10 unidades por mes. Cada trabajador en la nómina cuesta $2,000 por salario normal por mes. El tiempo improductivo se paga a la misma tasa que el tiempo normal. De acuerdo con el contrato laboral vigente, Kerby Corporation no trabaja tiempo extra ni utiliza subcontratación. Kerby puede contratar y capacitar a un nuevo empleado por $2,000 y despedir a alguien por $500. El costo del inventario es $32 por unidad almacenada al final de cada mes. Por ahora hay 140 empleados en la nómina y el inventario de previsión es cero.

a) Prepare un plan de producción que solo use una fuerza de trabajo nivelada y el inventario de previsión como opciones de suministro. Minimice el inventario que queda al final del año. Los despidos, tiempo improductivo, vacaciones, subcontratación, órdenes atrasadas y faltantes no son opciones. El plan puede exigir un ajuste de una vez en la fuerza de trabajo antes de que inicie el mes uno.

b) Prepare un plan de producción utilizando una estrategia de persecución, con base solo en contratación y despido.

c) Prepare un plan de producción de estrategia mixta que utilice nada más un nivel de fuerza de trabajo e inventario de previsión en el mes siete (puede hacerse un ajuste de la fuerza de trabajo antes de iniciar el mes uno) y luego cambie a una estrategia de persecución en los meses 8 a 12.

d) Compare estos planes con base en los costos anuales.

6. Tax Prep Advisers, Inc. ha pronosticado los siguientes requerimientos de asociados para preparación de impuestos durante los 12 meses siguientes. La administración desea que se desarrollen tres planes alternativos de personal.

Mes	1	2	3	4
Demanda	5	8	10	13
Mes	**5**	**6**	**7**	**8**
Demanda	18	20	20	14
Mes	**9**	**10**	**11**	**12**
Demanda	12	8	2	1

La compañía actualmente tiene 10 asociados. Se pueden contratar no más de 10 nuevos asociados en cualquier mes debido al número limitado de instalaciones para capacitación. No se permiten órdenes atrasadas y el tiempo extra no puede exceder 25% de la capacidad de tiempo normal en cualquier mes. No hay costo por la capacidad de tiempo extra no usada. El salario de tiempo normal es $1,500 por mes y el del tiempo extra es 150% del salario de tiempo normal. El tiempo improductivo se paga a la misma tasa que el normal. El costo de contratar es $2,500 por persona y el costo de despido es $2,000 por persona.

a) Prepare un plan de personal utilizando una estrategia de nivelar la fuerza de trabajo minimizando el tiempo improductivo. El plan puede exigir un ajuste de una vez de la fuerza de trabajo antes del mes uno.

b) Con una estrategia de persecución, prepare un plan que sea congruente con la restricción de contratar y minimice la utilización de tiempo improductivo.

c) Prepare una estrategia mixta en la que el nivel de la fuerza de trabajo aumente lentamente en dos empleados al mes hasta el mes cinco y luego decrezca en dos empleados al mes desde el mes 6 hasta el 12.¿Viola este plan las restricciones de contratación o de tiempo improductivo en la compañía?

d) Compare estos tres planes con base en el costo anual.

7. Climate Control, Inc. hace equipo contra la lluvia con calidad de expedición para los entusiastas del aire libre. La administración preparó un pronóstico de ventas (en trajes) para el siguiente año y ahora debe preparar un plan de producción. Por tradición, la compañía ha mantenido una estrategia de fuerza de trabajo nivelada. Tratan a los nueve trabajadores como familia y han trabajado en la compañía por varios años. Cada empleado puede producir 2,000 trajes por mes. Hoy, el inventario de bienes terminados contiene 24,000 trajes. El pronóstico de la demanda es el siguiente:

Mes	1	2	3	4
Demanda	25,000	16,000	15,000	19,000
Mes	**5**	**6**	**7**	**8**
Demanda	32,000	29,000	27,000	22,000
Mes	**9**	**10**	**11**	**12**
Demanda	14,000	15,000	20,000	6,000

a) La administración está dispuesta a autorizar tiempo extra en periodos en los que la producción normal y los niveles actuales de inventario anticipado no satisfacen la demanda. Sin embargo, el tiempo extra debe limitarse estrictamente a no más de 20% de la capacidad del tiempo normal. La administración desea evitar los faltantes y las órdenes pendientes y no está dispuesta a aceptar un plan que tenga faltantes. ¿Es factible mantener la fuerza de trabajo constante, suponiendo que el tiempo extra solo se usa en periodos en los que podrían ocurrir faltantes?

b) Suponga que la administración no está dispuesta a autorizar el tiempo extra. En su lugar, acepta negociar con los clientes para poder utilizar órdenes pendientes como una opción de suministro. No obstante, la administración no quiere tener más de 5,000 trajes en órdenes pendientes de un mes a otro. ¿Es factible mantener una fuerza de trabajo constante, suponiendo que puede haber un máximo de 5,000 trajes en órdenes pendientes de un mes a otro?

c) Suponga que la administración está dispuesta a autorizar el uso de tiempo extra en los siguientes cuatro meses para acumular inventario de previsión adicional; pero el tiempo extra debe tener un límite estricto a no más de 20% de la capacidad del tiempo normal. La administración desea evitar los faltantes y las órdenes pendientes y no está dispuesta a aceptar un plan que admita faltantes. ¿Es factible mantener una fuerza de trabajo constante, suponiendo que el tiempo extra solo se usa en los meses 1 a 4? Si no es factible, ¿en qué meses se requeriría el tiempo extra adicional?

8. Gretchen's Kitchen es un restaurante de comida rápida localizado en un punto ideal cerca de una preparatoria del área. Gretchen Lowe debe preparar un plan de personal anual. Los únicos artículos en el menú son hamburguesas, chiles, refrescos, malteadas y papas fritas. Una muestra de 1,000 clientes tomada al azar reveló que compraron 2,100 hamburguesas, 200 pintas de chile, 1,000 refrescos y malteadas y 1,000 bolsas de papas fritas. Así, para estimar los requerimientos de personal, Lowe supone que cada cliente compra 2.1 hamburguesas, 0.2 pintas de chile, un refresco o malteada y una bolsa de papas fritas. Cada hamburguesa requiere cuatro minutos de mano de obra, una pinta (20 onzas) de chile requiere tres minutos y un refresco o malteada toman dos minutos de mano de obra.

Por ahora, el restaurante tiene 10 empleados de tiempo parcial que trabajan 80 horas al mes en turnos escalonados. Los salarios son $400 por mes por el tiempo normal y $7.50 por hora por el tiempo extra. Los costos de contratar y capacitar son $250 por cada nuevo empleado y cuesta $50 despedir a uno de ellos.

Lowe se da cuenta de que acumular inventarios estacionales de hamburguesas (o de cualquiera de los productos) no sería inteligente, por tratarse de productos perecederos. Además, cualquier demanda no satisfecha es una venta perdida y debe evitarse. Tres estrategias vienen a la mente:

- Utilizar una estrategia al nivel de utilización de la fuerza de trabajo pero considerando el tiempo extra y el tiempo improductivo, con hasta 20% de la capacidad del tiempo normal en tiempo extra.
- Mantener una base de 10 empleados, contratando y despidiendo según sea necesario, para evitar el tiempo extra.
- Utilizar una estrategia de persecución, contratando y despidiendo empleados cuando la demanda cambia para evitar el tiempo extra.

Al realizar sus cálculos, Lowe siempre redondea el número de empleados al siguiente entero más alto. También sigue la política de no utilizar a los empleados más de 80

horas al mes, excepto cuando se necesita tiempo extra. La demanda proyectada por mes (número de clientes) para el siguiente año se muestra en la tabla:

Ene.	3,200	Jul.	4,800
Feb.	2,600	Ago.	4,200
Mar.	3,300	Sep.	3,800
Abr.	3,900	Oct.	3,600
May.	3,600	Nov.	3,500
Jun.	4,200	Dic.	3,000

a) Desarrolle un programa de requerimientos de servicio (horas por mes) para el siguiente año.

b) ¿Qué estrategia es más efectiva?

c) Suponga que un arreglo con la escuela preparatoria permite a la administradora identificar buenos prospectos para empleados sin tener que anunciarse en el periódico local. Esta fuente reduce el costo de contratar a $50 que es, en esencia, el costo de las hamburguesas quemadas durante la capacitación. Si el costo es su única preocupación, ¿este método de contratar cambiará la estrategia de Gretchen Lowe? Considerando otros objetivos que puedan ser apropiados, ¿piensa que debe cambiar estrategias?

9. La compañía Kool King ha seguido la política de no despedir casi toda su vida como fabricante, aun cuando la demanda de sus aires acondicionados es altamente estacional. La administración quiere evaluar la efectividad en costo de su política. Las presiones competitivas están aumentando y debe encontrar formas de reducir costos. La siguiente demanda (expresada en equivalente de empleados-mes) es el pronóstico para el próximo año.

Ene.	70	May.	130	Sep.	110
Feb.	90	Jun.	170	Oct.	60
Mar.	100	Jul.	170	Nov.	20
Abr.	100	Ago.	150	Dic.	40

Los que siguen son datos de planeación adicionales, con costos, inventario y órdenes pendientes expresados en equivalentes de empleados-mes:

Costo de producción tiempo normal	$1,500	Costo de contratación	$500/ persona
Costo de producción en tiempo extra	150% del costo de producción en tiempo normal	Costo de despido	$2,000/ persona
Costo de subcontratación	$2,500	Órdenes pendientes actuales	10
Costo de mantener inventario	$100	Inventario actual	0
Costo de órdenes pendientes	$1,000	Inventario final deseado	0
Tiempo extra máximo	20% de la capacidad en tiempo normal	Empleados actuales	130 empleados

Los costos de contratar son menores que los de despedir porque la instalación está cerca de una escuela de capacitación técnica. El tiempo improductivo se paga a la tasa equivalente al de producción en tiempo normal. Cada empleado que ha trabajado en la compañía al menos un año también recibe 0.5 meses de pago de vacaciones. Los 130 empleados actuales califican para vacaciones el año próximo, suponiendo que permanecen en la fuerza de trabajo. Conteste las preguntas que siguen utilizando el Solver de *Planeación de ventas y operaciones con hojas de cálculo* (*Sales and Operations Planning with Spreadsheets*) en OM Explorer o una hoja de Excel que desarrolle por usted mismo.

a) Desarrolle un PVyO con la estrategia de nivelar la fuerza de trabajo utilizando tiempo extra, tiempo improductivo y vacaciones como las únicas opciones de suministro. Utilice la cantidad máxima de tiempo extra de manera que se minimice el tiempo improductivo. ¿Cuál es el costo total de este plan y cuáles son sus ventajas y desventajas?

b) Desarrolle un PVyO con la estrategia de persecución. Parte de su decisión será cuándo y cuántos periodos de vacaciones otorgar. ¿Cuál es el costo total de este plan y cuáles son sus ventajas y desventajas?

c) Desarrolle un PVyO con un costo mejor que el encontrado con las estrategias al nivel de utilización o persecución, abierto al rango completo de opciones de suministro (incluyendo inventario de previsión). Los subcontratistas pueden proporcionar hasta 50 empleados-mes equivalentes. ¿Cuál es el costo total de este plan y cuáles son sus ventajas y desventajas?

10. Un administrador enfrenta una demanda pico (semanal) de una de sus operaciones, pero no está seguro de cuánto durará el pico. Este puede utilizar tiempo extra con la fuerza de trabajo o contratar/despedir y solo pagar salarios de tiempo normal. El pago por el tiempo normal es $500 por semana, por el tiempo extra es $750 por semana, el costo de contratar es $2,000 y el de despedir es $3,000. Suponiendo que hay personas disponibles que buscan un arreglo así a corto plazo, ¿cuántas semanas debe durar el incremento en la demanda para justificar una contratación temporal? *Sugerencia:* utilice análisis de punto de equilibrio (véase el suplemento A, "Toma de decisiones"). Sea w el número de semanas de demanda alta (en lugar de utilizar Q para la cantidad de equilibrio). ¿Cuál es el costo fijo de la opción de tiempo normal? ¿Cuáles son las opciones de tiempo extra?

11. Gerald Glynn administra el Michaels Distribution Center. Después de un examen cuidadoso de la información en su base de datos, determina los requerimientos diarios para el personal de carga y descarga de tiempo parcial. El centro de distribución opera siete días de la semana y los requerimientos diarios de personal de tiempo parcial son:

Día	L	M	M	J	V	S	D
Requerimientos	6	3	5	3	7	2	3

Encuentre el número mínimo de trabajadores que Glynn debe contratar. Prepare un programa de fuerza de trabajo para estos individuos de manera que cada uno tenga dos días libres consecutivos por semana y se satisfagan todos los requerimientos de personal. Dé preferencia al par S-D en caso de un empate.

12. Cara Ryder administra una escuela de esquí en un gran centro vacacional y está intentando desarrollar la programación de instructores. Ellos reciben poco salario y trabajan suficiente para obtener hospedaje y comida. Pueden esquiar gratis y gastan casi todo su tiempo libre sobre la notoria pista diamante negro doble del centro vacacional. Los instructores trabajan solo cuatro días de la semana. A Ryder le gusta que el mismo instructor trabaje con el mismo grupo durante los cuatro días, de manera que los programas para cuatro días consecutivos y luego tres días libres. Ryder utiliza sus años de experiencia con los pronósticos de la demanda proporcionados por la administración para formular sus requerimientos de instructores para el mes próximo.

Día	L	M	M	J	V	S	D
Requerimientos	7	5	4	5	6	9	8

a) Determine cuántos instructores necesita contratar Ryder. Dé preferencia a sábado y domingo como días libres. (*Sugerencia:* busque el grupo de tres días con los requerimientos más bajos).

b) Especifique el programa de trabajo para cada empleado. ¿Cuánto tiempo de holgura genera su programación para cada día?

13. El alcalde de Cambridge, Colorado, con el deseo de ser *ambientalmente progresista* decide desarrollar un plan de reciclado. Todos los residentes de la ciudad recibirán un basurero con tres compartimientos para separar vidrio, plástico y aluminio y la ciudad se hará cargo de recoger los materiales. Un joven graduado en planeación regional y urbana, Michael Duffy, fue contratado para manejar el programa de reciclado. Después de un estudio minucioso de la densidad de la población en la ciudad, Duffy decide que se necesitarán los siguientes números de recolectores de reciclado:

Día	L	M	M	J	V	S	D
Requerimientos	12	7	9	9	5	3	6

Los requerimientos se basan en la población de los diferentes desarrollos de viviendas y subdivisiones en la ciudad y las comunidades que la rodean. Para motivar a los residentes de algunas áreas a tener sus programas de recolección durante los fines de semana, se dará algún *descuento especial en los impuestos.*

a) Encuentre el número mínimo de recolectores de reciclado requeridos si cada empleado trabaja cinco días de la semana y tiene dos días libres consecutivos. Dé preferencia al par S-D cuando haya un empate con esos días.

b) Especifique el programa de trabajo para cada empleado. ¿Cuánto tiempo improductivo o de holgura genera su programa para cada día?

c) Suponga que Duffy puede suavizar más los requerimientos mediante mayores incentivos de impuestos. Los requerimientos serían entonces ocho recolectores en lunes y siete los otros días de la semana. ¿Cuántos recolectores se necesitarían ahora? ¿Tiene implicaciones de inversión de capital el hecho de suavizar los requerimientos? Si es así, ¿cuáles son?

14. Little 6, Inc., una empresa contable, pronostica la siguiente carga de trabajo semanal durante la temporada de presentación de declaraciones de impuestos:

	DÍA						
	L	M	M	J	V	S	D
Declaraciones personales	24	14	18	18	10	28	16
Declaraciones corporativas	16	10	12	15	24	12	4

Cada una de las declaraciones corporativas requiere cuatro horas de tiempo de un contador y las declaraciones personales requieren 90 minutos cada una. Durante la temporada de impuestos, cada contador puede trabajar hasta 10 horas por día. Sin embargo, las tasas de error aumentan a niveles no aceptables cuando los contadores trabajan más de cinco días consecutivos por semana.

Sugerencia: lea el suplemento "D" antes de trabajar este problema. Sea x_i = número en cada programa de trabajo, por ejemplo, x_1 = número para martes a sábado.

a) Desarrolle un programa de trabajo efectivo y eficiente formulando el problema como un programa lineal y resuélvalo con POM para Windows.

b) Suponga que la administración ha decidido ofrecer un diferencial de pago a los contadores que están programados para trabajar en el fin de semana. Normalmente, los contadores ganan $1,200 por semana, pero la administración pagará un bono de $100 por trabajar el sábado y $150 por trabajar el domingo. ¿Qué programa cubrirá toda la demanda al tiempo que minimice el costo de nómina?

c) Suponga que Little 6 tiene tres empleados de tiempo parcial disponibles para trabajar viernes, sábado y domingo a una tasa de $800. ¿Pueden estos empleados utilizarse con efectividad en costo?

15. Regrese al problema 11 y el programa de la fuerza de trabajo para los trabajadores de tiempo parcial de carga y descarga. Suponga que cada trabajador de tiempo parcial puede trabajar solo tres días, pero deben ser consecutivos. Formule y resuelva este problema de programación de la fuerza de trabajo como un programa lineal y resuélvalo con POM para Windows. Su objetivo es minimizar la holgura de la capacidad total. ¿Cuál es número mínimo de cargadores necesario ahora y cuál es su programación?

Sugerencia: lea el suplemento D antes de trabajar este problema. Sea x_i = número en cada programa de trabajo, por ejemplo, x_1 = número de martes a jueves.

16. Hickory Company fabrica escritorios de madera. La administración programa el tiempo extra cada fin de semana para reducir las órdenes atrasadas de los modelos más populares. La máquina de enrutamiento automático se utiliza para cortar cierto tipo de orillas de las tapas de los escritorios. Deben programarse las siguientes órdenes en la máquina automática.

Orden	Tiempo desde que llegó la orden (horas)	Tiempo de máquina estimado (horas)	Fecha de entrega (horas desde ahora)
1	6	10	12
2	5	3	8
3	3	15	18
4	1	9	20
5	0	7	21

Las fechas de entrega reflejan la necesidad de qué orden esté en la siguiente operación.

a) Desarrolle programas separados utilizando las reglas de PEPS y EDD. Compare los programas con base en el tiempo de flujo promedio y las horas de retardo promedio.

b) Comente el desempeño de las dos reglas respecto a estas medidas.

17. Actualmente, una compañía que diseña sitios Web tiene cinco clientes en sus órdenes atrasadas. El día en que llegó la orden, el tiempo de procesado y la fecha de entrega prometida se dan en la siguiente tabla. Los clientes se encuentran en el orden en que llegaron. Están listos para que se les programe hoy, que es el inicio del día 190.

Cliente	Tiempo desde que llegó la orden (días)	Tiempo de procesado (días)	Fecha de entrega (días desde hoy)
A	10	20	26
B	8	12	50
C	6	28	66
D	3	24	58
E	2	32	100

a) Desarrolle programas separados utilizando las reglas de PEPS y EDD. Compare los programas con base en el tiempo de flujo promedio y los días de retardo promedio.

b) Comente el desempeño de las dos reglas respecto a estas medidas. ¿Cuál de ellas da el mejor programa y por qué?

18. El taller Mowry Machine Shop todavía tiene cinco trabajos que procesar a partir de las 8:00 a.m. hoy (día 23) en su operación cuello de botella. El día en que llegó la orden, el tiempo de procesado y las fechas de entrega prometidas se dan en la siguiente tabla. Los trabajos están en el orden de llegadas.

Trabajo	Tiempo desde que llegó la orden (días)	Tiempo de procesado (días)	Fecha de entrega (días desde hoy)
A	11	10	22
B	10	8	13
C	8	4	19
D	6	4	16
E	1	3	30

a) Desarrolle programas separados utilizando las reglas de PEPS y EDD. Compare los programas con base en el tiempo de flujo promedio y los días de retardo promedio.

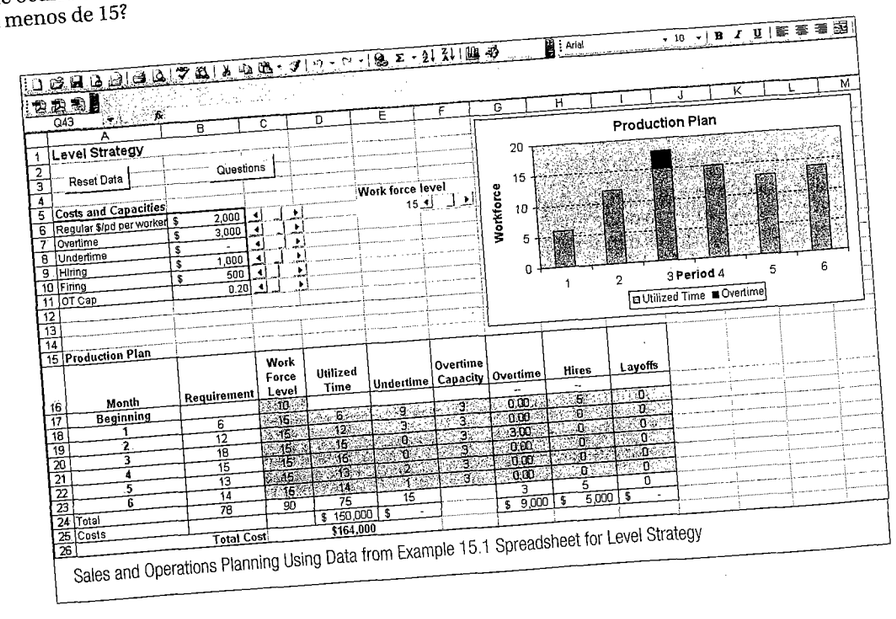
b) ¿Qué regla da el mejor programa y porqué?

Ejercicio de modelo activo

Este modelo activo aparece en MyOMLab. Le permite evaluar los efectos de modificar el tamaño de una fuerza de trabajo constante.

PREGUNTAS

1. Si usamos el mismo número de trabajadores en cada periodo, ¿qué ocurre cuando ese número aumenta a más de 15?
2. Si utilizamos el mismo número de trabajadores cada periodo, ¿qué ocurre cuando el número de trabajadores disminuye a menos de 15?
3. Suponga que el costo de contratar es $1,100. ¿Qué ocurre cuando el número de trabajadores aumenta?
4. Suponga que el costo del tiempo extra es $3,300. ¿Qué ocurre cuando el número de trabajadores aumenta?
5. Suponga que el costo del tiempo improductivo es el mismo que el costo del tiempo normal (esto es, tiempo improductivo pagado). ¿Cuál es el mejor número de trabajadores para cada mes que permita cumplir la demanda?
6. Si la capacidad de tiempo extra aumenta a 30%, ¿cuál es el número mínimo de trabajadores que cumple la demanda cada mes?



Sales and Operations Planning Using Data from Example 15.1 Spreadsheet for Level Strategy

CASO EN VIDEO Planeación de ventas y operaciones en Starwood

Viajar por negocios con frecuencia significa quedarse la noche en un hotel. Al llegar, tal vez lo salude un portero o un asistente para ayudarlo con su equipaje. El personal de recepción espera que se registre. Detrás del escenario, el personal de limpieza, mantenimiento y cocina preparan su estancia. Hacer reservaciones notifica al hotel su plan de ser huésped, pero incluso antes de que planee su viaje, el hotel tiene personal y está listo. ¿Cómo? Mediante el proceso llamado *planeación de ventas y operaciones*.

La planeación de ventas y operaciones es un proceso que toda organización realiza en cierto grado. Llamado plan de personal (o plan de recursos de servicio si se quiere más detalle) en las organizaciones de servicio, el plan debe estar dirigido al nivel correcto de clientes mientras mantiene estabilidad en la fuerza de trabajo y control de costos para lograr las expectativas de ganancias de la organización. ¿Dónde comienzan las compañías? Daremos un vistazo a Starwood Hotels and Resorts para ver cómo se hace.

Starwood opera en más de 750 localidades alrededor del mundo. En los niveles más altos, Starwood aborda la planeación de ventas y operaciones cada año, haciendo ajustes conforme se necesitan cada mes por región y por propiedad. Los ingresos presupuestados y otras proyecciones llegan de la oficina matriz; después las regiones y las propiedades individuales desglosan los pronósticos para cumplir con su ocupación esperada. En general, el director de recursos humanos determina la mezcla de personal necesaria en todas las divisiones como servicio de comida y bebidas, habitaciones (incluyendo limpieza, spa y servicios al huésped), ingeniería, Six Sigma (véase el capítulo 5, "Calidad y desempeño"), administración del ingreso y contabilidad.

A nivel de propiedad, los administradores generales y su personal deben proporcionar datos al plan del siguiente año al tiempo que se implementa y monitorea la actividad del año actual. Para la mayoría de las propiedades, la *nómina es cerca de 40% de los ingresos presupuestados* y representa el gasto más grande en que incurre el hotel. También es el gasto más controlable. Muchos de los hoteles Starwood y la mayoría de los centros vacacionales (resorts) experimentan patrones de estacionalidad que afecta la demanda de habitaciones y servicios. La estacionalidad, a su vez, afecta significativamente el plan de personal de la organización.

Para determinar los niveles de personal, la compañía utiliza un software de propietarios que modela la ocupación con base en datos históricos. Los impulsores de la contratación de personal son habitaciones ocupadas y comidas en los restaurantes, llamados "cubiertos". Starwood sabe, en términos de *por habitación* y *por cubierto*, cuánto personal se requiere para funcionar adecuadamente. Cuando la ocupación y los cubiertos se ingresan en el programa de software, la salida modela un nivel de personal recomendado para cada división. Los administradores de las divisiones revisan la recomendación y la ajustan como se necesite para asegurar que el personal está en línea con los planes financieros presupuestados. Se realizan varias ferias de trabajo al año para reclutar personal no administrativo para que un grupo de candidatos calificados de tiempo completo y parcial estén listos cuando se requieran. Casi todos los hoteles mantienen un grupo de trabajadores de tiempo parcial que pueden contraer o expandir sus horas trabajadas según los huéspedes de la propiedad. Las vacaciones para la administración se programan para la temporada baja. El tiempo extra se trabajará según sea necesario, pero es menos deseable que programar el nivel de personal apropiado en cada división.

El programa también toma en cuenta la complejidad y el posicionamiento de la propiedad dentro de Starwood. Por ejemplo, un hotel citadino de 400 habitaciones que es en esencia un edificio alto no es tan complejo como un centro vacacional extendido con golf, spa, centro de convenciones y otros servicios no ofrecidos en el hotel de la ciudad. El posicionamiento también es importante. Las expectativas de los clientes de un hotel-resort de cinco estrellas son mucho mayores que las de un hotel de tres estrellas cercano a un aeropuerto y requiere una razón de personal a huéspedes mucho más alta. Por último, si el hotel es una propiedad nueva, se utilizan datos históricos de propiedades similares para el modelo de personal por uno o dos años de operación.

Pearson

Un programa de software que pronostica la ocupación basada en datos históricos ayuda a Starwood a mantener los niveles de personal apropiados en sus hoteles. Los administradores saben, en términos de *por habitación* y *por cubierto*, cuántos empleados del hotel deben programar para que los clientes obtengan buen servicio.

Starwood intenta modificar la demanda y suavizar los picos y valles de sus patrones de demanda. Muchos hoteles de la compañía experimentan tres estaciones: alta, media (llamada "hombro") y baja. Starwood, como sus competidores, ofrecen tarifas especiales, paquetes familiares y especiales de fin de semana para atraer a diferentes segmentos del mercado durante los periodos lentos. El personal recibe una capacitación cruzada para trabajar en múltiples áreas, como la recepción y la consejería, de manera que no tenga que agregarse personal adicional en todas las estaciones. También puede reasignarse a los empleados a otras propiedades para ayudar durante los periodos pico. Por ejemplo, cuando se pronostica una ocupación alta en una región del país, el personal de las áreas que comienzan una temporada baja se asigna para cubrir la demanda.

PREGUNTAS

1. ¿En qué puntos del proceso de planeación esperaría que los sistemas de contabilidad/finanzas, marketing, información y operaciones jueguen un papel importante? ¿Qué datos deben proporcionar estas áreas y por qué?
2. ¿Qué estrategia empleó Starwood: persecución, nivel o mixta? ¿Por qué este enfoque es la mejor opción para la compañía?
3. ¿En qué difiere determinar el personal para la apertura de un nuevo hotel o centro vacacional y el de una propiedad existente? ¿En qué datos puede apoyarse Starwood para asegurar que la nueva propiedad no tenga personal de más o de menos en su primer año de operación?

CASO Memorial Hospital

El Memorial Hospital es una instalación para el cuidado de la salud de 265 camas, situada en las montañas, al oeste de Carolina del Norte. La misión del hospital es proporcionar cuidados de calidad a las personas del condado de Ashe y los seis condados que lo rodean. Para lograr esta misión, el director ejecutivo del Memorial Hospital ha delineado tres objetivos: **1.** maximizar el servicio al cliente para incrementar la satisfacción del cliente, **2.** minimizar los costos para mantenerse competitivo y **3.** minimizar fluctuaciones en los niveles de la fuerza de trabajo para ayudar a estabilizar el empleo en el área.

Las operaciones del hospital se segmentan en ocho pabellones principales para fines de planeación y programación del personal de enfermería. Estos pabellones están listados en la tabla 15.4, junto al número de camas, las razones meta entre pacientes y enfermeras, y el censo de pacientes promedio para cada pabellón. La demanda global para los servicios del hospital ha permanecido relativamente constante durante los años recientes aun cuando la población de los siete condados a los que atiende ha crecido. Esta demanda estable se puede atribuir a una mayor competencia de otros hospitales en el área y al surgimiento de sistemas de cuidado de la salud o alternativos, como organizaciones de mantenimiento de la salud (OMS). Sin embargo, la demanda de los servicios del Memorial Hospital varía considerablemente por tipo de pabellón y época del año. La tabla 15.5 proporciona un desglose histórico mensual del censo de pacientes diarios promedio por pabellón.

La directora de enfermeras del Memorial Hospital es Darlene Fry. Cada otoño confronta uno de los retos mayores de su trabajo: planear los niveles del personal de enfermeras para el siguiente año. Aunque la demanda promedio de enfermeras se ha mantenido relativamente estable durante un par de años, el plan de personal suele cambiar debido a cambios en las políticas de trabajo, las estructuras de pago y la disponibilidad y costo de enfermeras temporales. Con el otoño cerca, Fry recolecta información para planear los niveles de personal del año siguiente.

Las enfermeras del Memorial Hospital trabajan un horario normal de días de 10 horas por semana. El pago del tiempo normal en todos los grados de enfermeras es $12.00 por hora. Puede programarse tiempo extra cuando sea necesario. Sin embargo, debido a la intensidad de las demandas sobre las enfermeras, solo se permite una cantidad limitada de tiempo extra por semana. Se puede programar a las enfermeras por hasta 12 horas por día, un máximo de cinco días por semana. El tiempo extra se paga a una tasa de $18.00 por hora. En los periodos de demanda extremadamente alta, se puede contratar enfermeras de tiempo parcial por un periodo limitado. Las enfermeras temporales ganan $15.00 por hora. La política del Memorial Hospital limita la proporción de enfermeras temporales a 15% del total del personal de enfermería.

Contratar y retener a enfermeras calificadas es un problema continuo para los hospitales. Una razón es que varias formas de práctica privada se llevan a las enfermeras de los hospitales con pago más alto y mayor flexibilidad. Esta situación ha ocasionado que Memorial garantice a sus enfermeras un pago de mínimo 30 horas por semana sin importar la demanda colocada sobre los servicios de enfermería. Además, cada enfermera recibe cuatro semanas de vacaciones pagadas cada año, pero el horario de vacaciones puede estar restringido por la demanda proyectada para las enfermeras durante ciertas épocas del año.

TABLA 15.4 | DATOS DE CAPACIDAD POR PABELLÓN

Pabellón	Número de datos	Pacientes por enfermera	Censo de pacientes*
Cuidado intensivo	20	2	10
Cardiaco	25	4	15
Maternidad	30	4	10
Pediatría	40	4	22
Cirugía	5	†	†
Posoperatorio	15	5	8 (equivalente diario de M-V)‡
Urgencias	10	3	5 (equivalente diario)‡
General	120	8	98

* Promedio anual por día.

† El hospital emplea 20 enfermeras quirúrgicas. Las cirugías de rutina se programan los martes y los viernes; se pueden programar cinco cirugías por día por quirófano (cama) en estos días. La cirugía de urgencia se programa cuando se requiera.

‡ Los equivalentes diarios se usan para programar enfermeras porque los pacientes fluyen por estos pabellones en periodos relativamente cortos. Un equivalente diario de cinco indica que durante un día típico, se trata un promedio de cinco pacientes en el pabellón.

Actualmente, el hospital emplea 130 enfermeras, incluyendo las 20 enfermeras quirúrgicas. Las otras 110 enfermeras se asignan a las siete áreas restantes del hospital. El departamento de personal informó a Fry que el costo promedio para el hospital al contratar una nueva enfermera de tiempo completo es $400 y el de despedir una enfermera es $150. Aunque los despidos son una opción, Fry está consciente de que el objetivo del hospital es conservar el nivel de la fuerza de trabajo.

Después de ver la información recolectada, Darlene Fry desea considerar cambios en el personal de todas las áreas excepto la quirúrgica, que tiene el personal correcto.

PREGUNTAS

1. Explique las alternativas disponibles para Darlene Fry al desarrollar un plan de personal de enfermería para el Memorial Hospital. ¿De qué manera cumple cada plan alternativo con los objetivos establecidos por el director ejecutivo?
2. Con base en los datos presentados, desarrolle un plan de personal de enfermería para el Memorial Hospital. Explique su razonamiento para este plan.

TABLA 15.5 | CENSO DE PACIENTES DIARIOS PROMEDIO POR MES

	MES											
Pabellón	**E**	**F**	**M**	**A**	**M**	**J**	**J**	**A**	**S**	**O**	**N**	**D**
Cuidado intensivo	13	10	8	7	7	6	11	13	9	10	12	14
Cardiaco	18	16	15	13	14	12	13	12	13	15	18	20
Maternidad	8	8	12	13	10	8	13	13	14	10	8	7
Pediatría	22	23	24	24	25	21	22	20	18	20	21	19
Cirugía	20	18	18	17	16	16	22	21	17	18	20	22
Posoperatorio	10	8	7	7	6	6	10	10	7	8	9	10
Urgencias	6	4	4	7	8	5	5	4	4	3	4	6
General	110	108	100	98	95	90	88	92	98	102	107	94

Fuente: este caso fue preparado por el Dr. Brooke Saladin, Wake Forest University, North Carolina, como base para la discusión en clase. Copyright © Brooke Saladin. Usado con permiso.

* Cirugías promedio por día en martes y jueves.

† Equivalentes diarios.

Referencias seleccionadas

Chiang, Wen-Chyuan, Jason C.H. Chen y Xiaojing Xu. "An Overview of Research on Revenue Management: Current Issues and Future Research". *International Journal of Revenue Management*, vol. 1, núm. 1 (2007), pp. 97-128.

Dougherty, John R. "Lessons from the Pros". *APICS Magazine* (noviembre/diciembre, 2007), pp. 31-33.

Dougherty, John R. y Christopher Gray. *Sales & Operations Planning—Best Practices*. Victoria, Canadá: Trafford Publishing, 2006.

Esper, Terry L., Alexander E. Ellinger, Theodore P. Stank, Daniel J. Flint y Mark Moon. "Demand and Supply Integration: A Conceptual Framework of Value Creation through Knowledge Management". *Journal of the Academy of Marketing Science*, vol. 38 (2010), pp. 5-18.

Gray, Christopher. *Sales & Operations Planning—Standard System*. Victoria, Canadá: Trafford Publishing, 2007.

Gupta, Jatinder N.D. y Edward Stafford Jr. "Flowshop Scheduling Research after Five Decades". *European Journal of Operational Research*, vol. 169 (2006), pp. 699-711.

Jacobs, F. Robert, William Berry y D. Clay Whybark. *Manufacturing Planning and Control Systems for Supply Chain Management*, 6a. ed. Nueva York: McGraw-Hill/Irwin, 2010.

Kelly, Erin L. y Phyllis Moen. "Rethinking the ClockWork of Work: Why Schedule Control May Pay Off at Work and at Home". *Advances in Developing Human Resources*, vol. 9, núm. 4 (Nov., 2007), pp. 487-605.

Maher, Kris. "Wal-Mart Seeks New Flexibility in Worker Shifts". *The Wall Street Journal* (3 de enero, 2007), p. A1.

Muzumdar, Maha y John Fontanella. "The Secrets to S&OP Success". *Supply Chain Management* (abril, 2006), pp. 34-41.

Nakano, Mikihisa. "Collaborative Forecasting and Planning in Supply Chains: The Impact on Performance in Japanese Manufacturers". *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 39, núm. 2, pp. 84-105.

Olhager, Jan y Erik Selldin. "Manufacturing Planning and Control Approaches: Market Alignment and Performance". *International Journal of Production Research*, vol 45, núm. 6 (2007), pp. 1469-1484.

Pinedo, Michael. "Planning and Scheduling in Manufacturing and Services". Nueva York: Springer, 2006.

Quadt, Daniel y Heinrich Kuhn. "A Taxonomy of Flexible Flow Line Scheduling Procedures". *European Journal of Operational Research*, vol. 178 (2007), pp. 686-698.

Rennie, Elizabeth. "All Fired UP: Why Food and Beverage Professionals Must Put S&OP on the Menu". *APICS Magazine* (julio/agosto, 2006), pp. 32-35.

Rennie, Elizabeth. "Remote Possibilities: Improved Logistics Management Leads to Promising New Distribution Activities". *APICS Magazine* (julio/agosto, 2006), pp.36-37.

Singhal, Jaya y Kalyan Singhal. "Holt, Modigliani, Muth, and Simon's Work and Its Role in the Renaissance and Evolution of Operations Management". *Journal of Operations Management*, vol. 25, núm. 2 (marzo, 2007), pp. 300-309.

Slone, Reuben, John T. Mentzer y J. Paul Dittmann. "Are You the Weakest Link in Your Company's Supply Chain?" *Harvard Business Review* (cotubre, 2007), pp. 1-11.

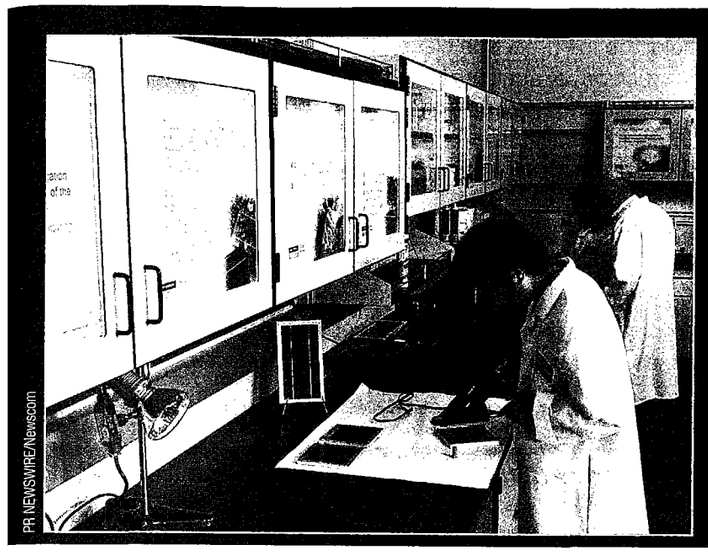
Smith, Larry, Joseph C. Andraski y E. Fawcett. "Integrated Business Planning: A Roadmap to Linking S&OP and CPFR". *Business Forecasting*, vol. 29, núm. 4 (invierno, 2011), pp. 1-17.

Takey, Flavia y Marco A. Mesquita. "Aggregate Planning for a Large Food Manufacturer with High Seasonal Demand", *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, vol. 3, núm. 1 (2006), pp. 5-20.

Trottman, Melanie. "Choices in Stormy Weather: How Airline Employees Make Hundreds of Decisions to Cancel or Reroute Flights". *Wall Street Journal* (14 de febrero, 2006), pp. BI-B3.

Wallace, Thomas F. y Robert A. Stahl. "Sales Forecasting: Improving Cooperation Between the Demand People and the Supply People", *Foresight*, núm 12 (invierno, 2009), pp. 14-20.

Wallace, Thomas F. *Sales & Operations Planning: The How-To Handbook*, 3a. ed. Cincinnati, OH: T.E. Wallace & Company, 2008.



16

PLANEACIÓN DE RECURSOS

Los científicos de Dow Corning investigan la siguiente generación de tecnologías solares en el Centro de Aplicación Solar de la compañía.

Dow Corning

Dow Corning, creada como una empresa conjunta entre Corning Incorporated y Dow Chemical Company en 1943, es un líder global que ofrece más de 7,000 productos y servicios innovadores utilizando tecnologías basadas en el silicón en diversas industrias como electrónica, aviación y aeroespacial, textil, automotriz y cuidado de la salud, entre otras. Como ejemplo, los compuestos aislantes eléctricos de Dow Corning su utilizan para crear sellos a prueba de humedad para aviones, automóviles y sistema de ignición marinos. Con 11,500 empleados, más de 25,000 clientes y 45 localidades de manufactura y almacenamiento en todo el mundo, sus ingresos anuales de $6 mil millones generaron un ingreso neto de $866 millones en 2010. Más de la mitad de sus ventas son fuera de Estados Unidos. Con el fin de integrar las diferentes funciones de negocios y mejorar la planeación de recursos en toda la organización y su cadena de suministros, Dow Corning recurrió a SAP, un proveedor líder de soluciones de software para la planeación de recursos de la empresa (ERP). SAP entrega acceso basado en las funciones a datos cruciales, aplicaciones y herramientas analíticas y tiene una suite de aplicaciones para procesos de negocios (en los temas de administración financiera, administración de relaciones con los clientes, administración de capital humano y administración de la cadena de suministros), análisis de negocios y tecnología. Dow instaló el SAP R/3 y la solución mySAP Supply Chain Management, con SAP Advanced Planner and Optimizer (APO) como núcleo.

Antes de implementar ERP, la transparencia limitada y redundancia dentro de los sistemas de legado dificultaban el acceso y el análisis de datos necesario para la planeación de recursos efectiva y obstaculizaban la toma de decisiones y la

capacidad de respuesta. Una implementación en secuencia de los módulos de SAP facilitó realizar los vínculos de los procesos clave, desde la generación de órdenes a la planeación de la producción, el almacenamiento, la entrega y la facturación final. La solución SAP APO activó el modelo SCOR de planear, generar, hacer y entregar (véase el capítulo 12, "Integración de la cadena de suministro"), que permitió ligar los procesos de la planta y las operaciones de manufactura con el resto del negocio. Con una visión transparente de órdenes, materiales, equipo, calidad del producto e información de costos, Dow Corning puede ahora coordinar las plantas y los procesos con mayor facilidad y mejor correspondencia entre la producción y los requerimientos del mercado a escala global. La productividad y satisfacción de los empleados también subieron, debido principalmente a los tiempos de respuesta más rápidos y las entregas a tiempo precisas.

Fuente: End to End Supply Chain Management at Dow Corning, **http://www.sap.com/usa/solutions/business-suite/erp/operations/pdf/CS_Dow_Corning.pdf**; Dow Corning, *Optimizing Operational Performance* to Sharpen Competitive Advantage, **www.sap.com; http://www.dowcorning.com/content/about/aboutmedia/fastfacts.asp**; 29 de mayo de 2011; **http://www12.sap.com/index.epx#/solutions/index.epx**; 29 de mayo de 2011.

METAS DE APRENDIZAJE *Después de estudiar este capítulo, usted será capaz de:*

1. Explicar de qué manera los sistemas ERP de planeación de recursos en la empresa pueden fomentar una mejor planeación de recursos.
2. Explicar de qué manera el concepto de demanda dependiente es fundamental para la planeación de recursos.
3. Describir un programa maestro de producción (MPS) y calcular las cantidades disponibles para promesa.
4. Aplicar la lógica del sistema de planeación de requerimientos de materiales (PRM) para identificar las órdenes de producción y compras necesarias para los artículos de demanda independiente.
5. Aplicar los principios de PRM a la provisión de servicios y distribución de inventarios.

Dow Corning demuestra que las compañías pueden obtener una ventaja competitiva al utilizar un sistema de información efectivo para ayudar a la planeación de recursos. Las compañías deben asegurar que todos los recursos que necesitan para producir servicios o productos terminados estén disponibles en el momento correcto. Si no lo están, la empresa arriesga perder al cliente. Para un fabricante, esta tarea puede significar el seguimiento de miles de subensambles, componentes y materias primas, así como de las capacidades de equipo clave. Para un proveedor de servicios, esta tarea tal vez represente el seguimiento de numerosos suministros y programar con cuidado los requerimientos de tiempo y capacidad de los diferentes empleados y tipos de equipo.

Comenzamos este capítulo describiendo los sistemas de planeación de recursos de la empresa (ERP, *enterprise resource planning*), que se han convertido en una herramienta valiosa para la planeación de recursos, entre otras cosas. Después examinamos un enfoque específico para la planeación de recursos, llamado planeación de requerimientos de materiales (PRM). La sección final del capítulo ilustra la forma en que los proveedores de servicios administran sus suministros, recursos humanos, equipo y recursos financieros.

planeación de recursos
Proceso que toma los planes de ventas y operaciones; la información de los procesos en términos de estándares de tiempo, rutas y otra información de cómo se producen los servicios o los bienes, y con ellos planea los requerimientos de entrada.

proceso de la empresa
Proceso de toda la compañía que cruza las áreas funcionales, las unidades de negocios, las regiones geográficas y las líneas de productos.

sistemas de planeación de recursos de la empresa (ERP)
Sistemas de información integrados que apoyan muchos procesos de la empresa y las necesidades de almacenamiento de datos.

Planeación de recursos en toda la organización

La **planeación de recursos** se encuentra en el corazón de la organización, cruzando todas las áreas funcionales. Toma los planes de ventas y operaciones; la información de los procesos en términos de estándares de tiempo, rutas y otra información de cómo se producen los servicios o los bienes, y con ellos planea los requerimientos de entrada. También puede crear reportes para los administradores de otras áreas funcionales importantes de la empresa como recursos humanos, compras, ventas y marketing, y finanzas y contabilidad. En esencia, la planeación de recursos es un proceso en sí mismo que puede ser analizado respecto a las prioridades competitivas de la empresa.

Planeación de recursos de la empresa

Un **proceso de la empresa** es un proceso de toda la compañía que cruza áreas funcionales, unidades de negocios, regiones geográficas, líneas de productos, proveedores y clientes. Los **sistemas de planeación de recursos de la empresa (ERP)** son grandes sistemas de información integrados

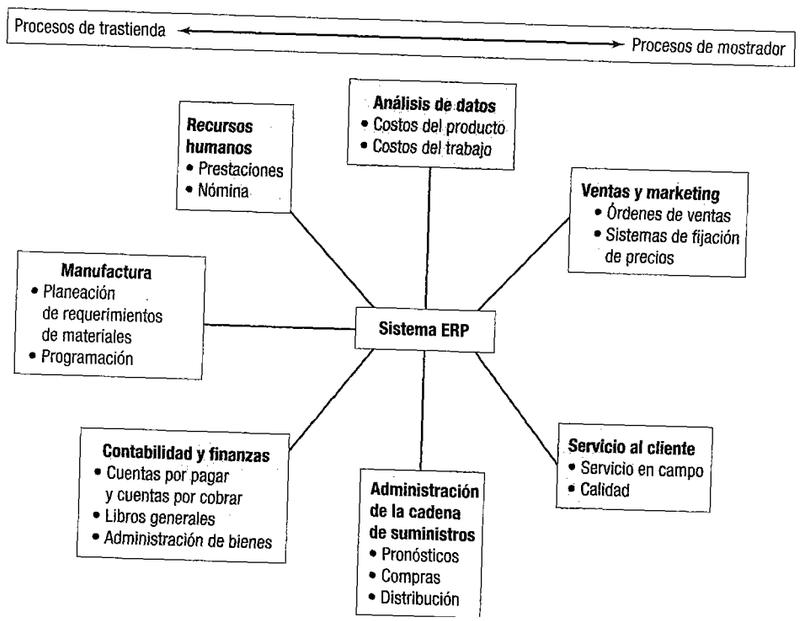
que apoyan muchos procesos de la compañía y las necesidades de almacenamiento de datos. Al integrar las áreas funcionales de una empresa, los sistemas ERP permiten a la organización ver sus operaciones como un todo en lugar de tener que intentar unir las diferentes piezas de información producidas por sus funciones y divisiones. Hoy, los sistemas ERP son utilizados por las compañías que por tradición tienen presencia física como fabricantes, restaurantes, hospitales y hoteles, al igual que por las compañías con base en Internet que dependen extensamente de la conectividad virtual para estar en contacto con sus clientes y proveedores.

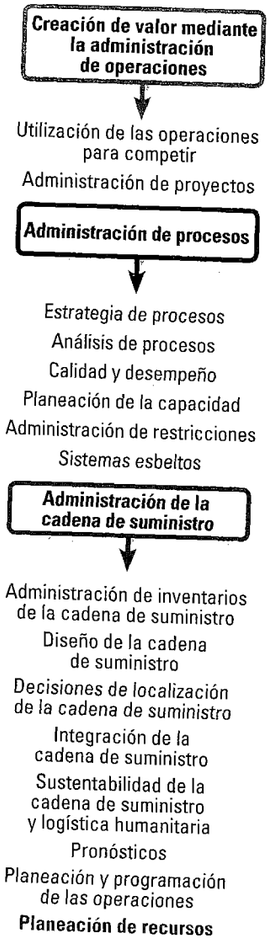
Cómo se diseñan los sistemas ERP

ERP gira alrededor de una sola base de datos exhaustiva que puede estar disponible por toda la organización (o empresa). En general se asignan contraseñas para permitir al personal acceder a ciertas áreas del sistema. Tener una sola base de datos con toda la información de la empresa es más sencillo para que los administradores monitoreen todos los productos de la compañía en todos los lugares y en todo momento. La base de datos recolecta datos y con ellos alimenta las diferentes aplicaciones modulares (o suites) del sistema de software. Conforme ingresa nueva información como una transacción en una aplicación, la información relacionada se actualiza de manera automática en otras aplicaciones, incluyendo las bases de datos financieros y contables de la compañía, de sus recursos humanos y nómina, ventas, proveedores y clientes, etc. De esta forma, el sistema ERP coordina los flujos de datos en toda la organización y la cadena de suministro y proporciona empleados con acceso directo a una abundante información operacional en tiempo real distribuida en las diferentes funciones de la organización. La figura 16.1 muestra algunas de las aplicaciones típicas con unos cuantos subprocesos anidados dentro de cada uno. Algunas aplicaciones están dedicadas a operaciones de trastienda como fabricación y nómina, mientras que otras son de mostrador como el servicio a clientes.

Amazon.com es una compañía que utiliza el sistema ERP. La aplicación para la cadena de suministros del sistema de Amazon es particularmente importante porque le permite ligar las órdenes del cliente con los envíos de almacén y, en última instancia, con las órdenes de reabastecimiento para sus proveedores. Otras aplicaciones son más importantes en otros negocios. Por ejemplo, las universidades hacen hincapié en las aplicaciones de recursos humanos, contabilidad y finanzas; los fabricantes tienen interés en casi todas las aplicaciones de la suite. No todas las aplicaciones en la figura 16.1 necesitan estar integradas en un sistema ERP, pero las que se quedan fuera no comparten su información con el sistema. Algunas veces, sin embargo, los sistemas ERP son diseñados para interactuar con los sistemas de información existentes en una empresa (conocidos como "sistemas de legado").

Diseñar un sistema ERP requiere que una compañía analice con cuidado sus procesos principales para tomar las decisiones apropiadas acerca de la coordinación de los sistemas de legado y el nuevo software. Algunas veces, los procesos de una compañía que tienen redundancias y flujos de información complejos deben someterse a una reingeniería completa antes de que la empresa pueda disfrutar los beneficios de un sistema de información integrado. Sin embargo, un estudio reciente mostró que las compañías obtienen las mayores recompensas cuando mantienen sencillas sus aplicaciones de ERP; trabajan con un número pequeño de vendedores de software y





◀ **FIGURA 16.1**
Módulos de aplicación de ERP
Fuente: basada en la *planeación de recursos de la empresa (ERP)* de Scalle and Cotteleer, Harvard Business School Press. Boston, MA, 1999, No. 9-699-020.

Stefan Kiefer/Imagebroker/Alamy

Oficina matriz de la compañía de software SAP AG en Walldorf, Baden-Wuerttemberg, Alemania, Europa.

utilizan sistemas estandarizados en lugar de hacer extensas personalizaciones. De otra manera, las empresas pueden terminar gastando grandes cantidades de dinero en sistemas ERP de uso complejo y manejo costoso. Cadbury, el gigante de la confitería del Reino Unido, tuvo que admitir un impacto de 12 millones de libras en sus ganancias, debido a la acumulación excesiva de inventario de barras de chocolate ocasionada por problemas con la tecnología de la información que surgieron del despliegue de un nuevo sistema ERP basado en SAP.

La mayor parte de los sistemas ERP actuales utiliza una interfase gráfica de usuario, aunque los más antiguos, manejados por teclado, basados en texto, todavía gozan de cierta popularidad por ser técnicamente confiables y sencillos. Los usuarios navegan por las distintas pantallas y menús. La capacitación, como la ofrecida durante la implementación de ERP, se enfoca en estas pantallas y en cómo pueden utilizarlas los usuarios para hacer su trabajo. Los proveedores más grandes de estos paquetes comerciales de software son SAP AG, una compañía alemana que también fue utilizada por Dow Corning en la apertura del capítulo, seguida por Oracle Corporation.

Planeación de requerimientos de materiales

planeación de requerimientos de materiales (PRM)

Sistema de información computarizado, desarrollado específicamente para ayudar a los fabricantes a administrar inventarios de demanda dependiente y órdenes de reabastecimiento programadas.

explosión de PRM

Proceso que convierte los requerimientos de diferentes productos finales en un plan de requerimientos de materiales que especifica los programas de reabastecimiento de todos los subensambles, componentes y materias primas necesarios para fabricar los productos finales.

Los módulos de manufactura y administración de la cadena de suministros en la figura 16.1 manejan la planeación de recursos. Comprender la planeación de recursos comienza con el concepto de *demanda dependiente*, que se separa de las técnicas cubiertas en el capítulo 9, "Administración del inventario de la cadena de suministro". La **planeación de requerimientos de materiales (PRM)** es un sistema de información computarizado, desarrollado específicamente para ayudar al fabricante a administrar inventarios de demanda dependiente y las órdenes programadas de reabastecimiento. Las entradas clave de un sistema PRM son una base de datos de listas de materiales, un programa maestro de producción y una base de datos de registros de inventario, como se muestra en la figura 16.2. Con esta información, el sistema PRM identifica las acciones que toman quienes planean para cumplir la programación, como liberar nuevas órdenes de producción, ajustando cantidades en las órdenes y acelerando las órdenes atrasadas.

Un sistema PRM traduce el programa maestro de producción en otras fuentes de demanda, como la demanda independiente de refacciones y artículos de mantenimiento, en los requerimientos de todos los subensambles, componentes y materias primas necesarios para producir los artículos primarios requeridos. Este proceso se llama **explosión de PRM** porque convierte requerimientos de productos finales en un plan de requerimientos de materiales que especifica los programas de reabastecimiento de todos los subensambles, componentes y materias primas necesarios para fabricar los productos finales.

Exploramos primero la naturaleza de la demanda dependiente y en qué difiere de la demanda independiente, seguido de un análisis de cada una de las entradas clave al sistema PRM mostrado en la figura 16.2.

FIGURA 16.2 ▶
Entradas para el plan de requerimientos de materiales

Demanda dependiente

Durante años, muchas compañías trataron de manejar la producción y los inventarios de demanda dependiente utilizando sistemas de demanda independiente similares a los estudiados en el capítulo 9, "Administración del inventario de la cadena de suministro", pero el resultado pocas veces fue satisfactorio porque la demanda dependiente es fundamentalmente diferente de la demanda independiente. Para ilustrar el concepto de demanda dependiente consideramos una bicicleta Huffy fabricada para las tiendas. La demanda de un producto final, como una bicicleta, se llama *demanda independiente* porque está sometida a las condiciones del mercado. Por el contrario, la demanda de los rayos utilizados en la bicicleta "depende" de la producción planeada para sus llantas. Huffy debe pronosticar su demanda utilizando técnicas como las descritas en el capítulo 14, "Pronósticos". Sin embargo, Huffy también mantiene otros artículos en inventario —manubrios, pedales, marcos y rines— que se usan para hacer bicicletas completas. Cada uno de estos artículos tiene una **demanda dependiente** porque la cantidad requerida caría con los planes de producción de otros artículos que están en el inventario de la empresa, como bicicletas terminadas, en ese caso. Por ejemplo, la demanda de marcos, pedales y rines es *dependiente* de la producción de bicicletas completas. Operaciones puede calcular la demanda de los artículos de demanda dependiente una vez determinados los niveles de producción en el plan de ventas y operaciones. Por ejemplo, cada bicicleta necesita dos rines, de manera que 1,000 bicicletas terminadas necesitan 1,000 (2) = 2,000 rines. Las técnicas de pronósticos no se necesitan para los rines.

demanda dependiente

Demanda de un artículo que ocurre porque la cantidad requerida varía con los planes de producción para otros artículos que se tienen en el inventario de la empresa.

La bicicleta o cualquier otro producto que se fabrica a partir de uno o más componentes, se llama **primario**. El rin es un ejemplo de un **componente**: un artículo que pasa por una o más operaciones para transformarlo o convertirlo en parte de uno o más primarios. Un rin, por ejemplo, tendrá más de un primario si se usa para fabricar más de un estilo de bicicleta. Esta relación primario-componente puede ocasionar patrones de demanda dependiente erráticos para las componentes. Suponga que cada vez que el inventario baja de 500 unidades (punto de reorden), se coloca una orden de 1,000 bicicletas más, como se muestra en la figura 16.3*a*). El supervisor de ensamblaje autoriza entonces el retiro de 2,000 rines del inventario, con las otras componentes del producto terminado. La demanda de rines se muestra en la figura 16.3*b*). Así, aunque la demanda de los clientes de la bicicleta terminada es continua y razonablemente uniforme, la demanda de producción para los rines tiene "baches"; esto es, ocurre esporádicamente, casi siempre en cantidades relativamente grandes. Así, las decisiones de producción para ensamblar bicicletas, que toman en cuenta los costos del ensamblaje de las bicicletas y las capacidades proyectadas en el momento de tomar las decisiones, determinan la demanda de los rines.

primario

Cualquier producto que se fabrica a partir de una o más componentes.

componente

Artículo que pasa por una o más operaciones para transformarlo o convertirlo en parte de uno o más primarios.

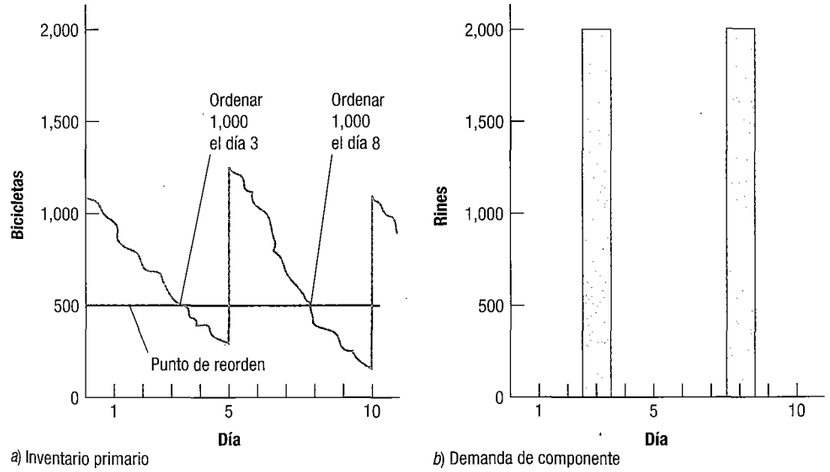
Administrar los inventarios de demanda dependiente es complicado porque algunas componentes pueden estar sujetas a demanda tanto dependiente como independiente. Por ejemplo, la planta necesita 2,000 rines para las nuevas bicicletas, pero la compañía también vende rines de reemplazo para bicicletas ya vendidas directamente a las tiendas. Esta práctica coloca una demanda independiente sobre el inventario de rines. La planeación de requerimientos de materiales se utiliza en situaciones complejas acerca de los inventarios de componentes, que tienen tanto demanda independiente como demanda dependiente.

Lista de materiales

El programa de reabastecimiento para una componente está determinado por los programas de producción de sus primarios. Entonces, el sistema necesita información precisa sobre las relaciones primario-componente. Una **lista de materiales (BOM**, *bill of materials*) es un registro de

lista de materiales

Registro de todas los componentes de un artículo, las relaciones primario-componente y las cántidades utilizadas derivadas de la ingeniería o los diseños de procesos.



a) Inventario primario

b) Demanda de componente

◀ FIGURA 16.3
Demanda dependiente con baches que resulta de la demanda independiente continua

todas las componentes de un artículo, las relaciones primario-componente y las cantidades de uso derivadas de ingeniería y diseño de procesos. En la figura 16.4, la BOM de una simple silla con respaldo-escalerilla muestra que la silla está hecha a partir del subensamble respaldo-escalerilla, un subensamble de asiento, patas delanteras y apoyo para las patas. A su vez, el subensamble respaldo-escalerilla está hecho con las patas traseras y tablillas y el subensamble de asiento está hecho con el marco del asiento y un cojín de asiento. Por último, el marco del asiento está hecho con tablones. Por conveniencia, nos referimos a estos artículos con las letras mostradas en la figura 16.4.

Todos los artículos, excepto A, son componentes porque se necesitan para hacer un primario. Los artículos A, B, C y H son primarios porque todos tienen al menos una componente. La BOM también especifica la **cantidad de uso** o el número de unidades de un componente que se necesitan para hacer una unidad de su primario inmediato. La figura 16.4 muestra las cantidades de uso para cada relación primario-componente entre paréntesis. Observe que una silla (artículo A) está formada por un subensamble de respaldo-escalerilla (artículo B), un subensamble de asiento (artículo C), dos patas delanteras (artículo D) y cuatro soportes de patas (artículo E). Además, el artículo B está compuesto por dos patas traseras (artículo F) y cuatro tablillas (artículo G). El artículo C necesita un marco de asiento (artículo H) y un cojín de asiento (artículo I). Por último, el artículo H necesita cuatro tablones para el marco (artículo J).

cantidad de uso
Número de unidades de una componente que se necesita para hacer una unidad de su primario inmediato.

Cuatro términos que se usan con frecuencia para describir los artículos en inventario son *artículos finales*, *artículos intermedios*, *subensambles* y *artículos comprados*. Un **artículo final** es el producto terminado que se vende al cliente; es un primario pero no un componente. El artículo A en la figura 16.4, la silla con respaldo-escalerilla, es un artículo final. Los estados contables clasifican el inventario de artículos finales como trabajo en proceso (WIP), si todavía debe trabajarse en ellos o son productos terminados. Un **artículo intermedio**, como B, C o H, tiene al menos un primario y al menos un componente. Algunos productos tienen varios niveles de artículos intermedios; el primario de un artículo intermedio también puede ser un artículo intermedio. El inventario de intermedios —ya sea terminados o todavía en la planta— se clasifican como WIP. Un **subensamble** es un artículo intermedio que está ensamblado (a diferencia de transformado por otros medios) a partir de más de un componente. Los artículos B y C son subensambles. Un **artículo comprado** no tiene componentes porque los surte un proveedor, pero tiene uno o más primarios. Los ejemplos son los artículos D, E, F, G, I y J en la figura 16.4. El inventario de artículos comprados se maneja como materias primas en los estados contables.

artículo final
Producto final vendido a un cliente.

artículo intermedio
Artículo que tiene al menos un primario y al menos un componente.

subensamble
Artículo intermedio que está *ensamblado* (contrario a estar transformado por otros medios) a partir de más de un componente.

artículo comprado
Artículo que tiene uno o más primarios, pero ningún componente porque un proveedor lo surte.

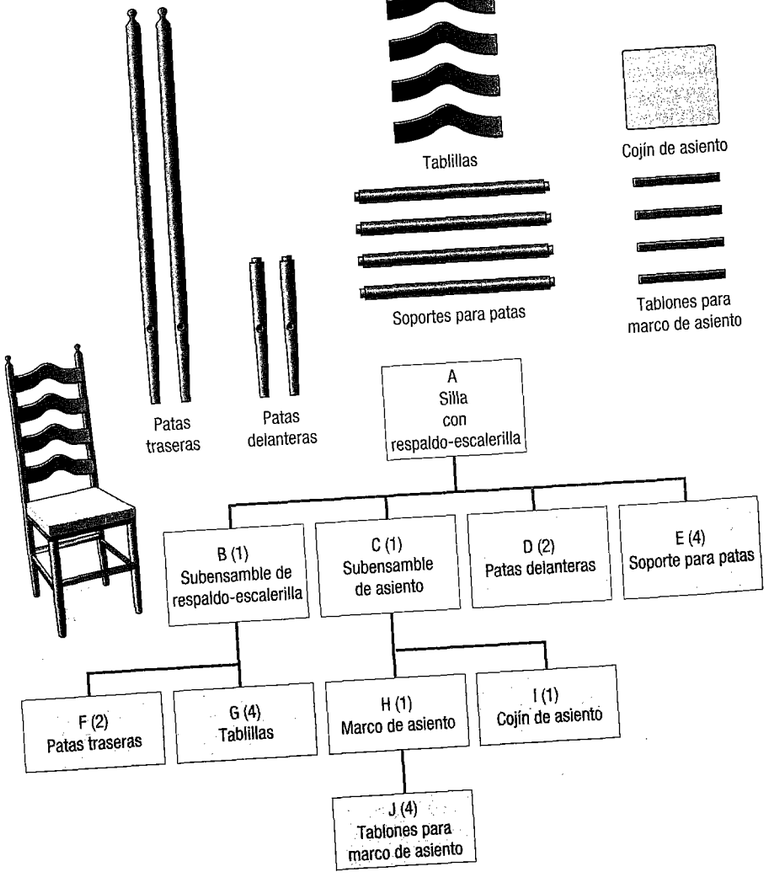


FIGURA 16.4 ▶
La BOM para una silla con respaldo-escalerilla

Un componente puede tener más de un primario. La **modularidad de una parte**, algunas veces llamado *estandarización de partes* o *lo común de una parte*, es el grado en el que un componente tiene más de un primario inmediato. Como resultado de la modularidad, el mismo artículo podría aparecer en la lista de materiales de varios productos distintos. Por ejemplo, el subensamble del asiento en la figura 16.4 es un componente de la silla con respaldo-escalerilla y de una silla de cocina que es parte de la misma familia de productos. La cantidad de uso especificada en la lista de materiales se vincula con una relación específica primario-componente. La cantidad de uso para cualquier componente puede, por lo tanto, cambiar, dependiendo del artículo primario. La modularidad de una parte o usar la misma parte en muchos primarios aumenta su volumen y su repetición, lo cual proporciona varias ventajas de proceso y ayuda a minimizar los costos de inventario.

modularidad de una parte
Grado en el que un componente tiene más de un primario inmediato.

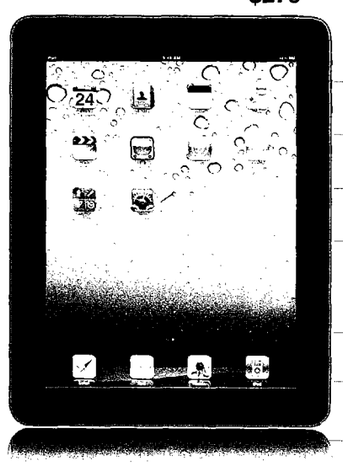
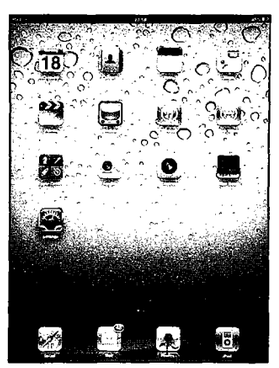
Un análisis cuidadoso de los populares productos iPad y iPad 2 de Apple muestra que su lista de materiales difiere en la carcasa y la batería, pero en el resto son notablemente similares en sus componentes y diseño. Se recurre a los mismos proveedores para muchos componentes y los costos son muy comparables para nuevas revisiones de chips encontrados en las iPad y iPhone anteriores. La estandarización de diseño y componentes en los diferentes productos y generaciones permite a Apple ser muy competitiva y redituable.

Programa maestro de producción

La segunda entrada para un plan de requerimientos de materiales es el **programa maestro de producción (MPS)**, que detalla cuántos artículos se producirán dentro de los periodos específicos. Desglosa el plan de ventas y operaciones en la programación de productos. La figura 16.5 muestra cómo un plan de ventas y operaciones para una familia de sillas se desglosa en el MPS semanal para cada tipo de silla en particular (el tiempo puede ser horas, días, semanas o meses). El ejemplo de la silla ilustra los siguientes aspectos de la programación maestra:

programa maestro de producción (MPS)
Una parte del plan de requerimientos de materiales que detalla cuántos artículos finales se producirán dentro de periodos específicos.

1. Las sumas de las cantidades en el MPS deben ser iguales a las del plan de ventas y operaciones. Esta congruencia entre los planes es deseable debido al análisis económico hecho para llegar al plan de ventas y operaciones.
2. Las cantidades de producción deben asignarse con eficiencia en el tiempo. La mezcla específica de tipos de sillas, es decir, el número de cada tipo como porcentaje de la cantidad total de la familia, está basada en la demanda histórica y el mercado con las consideraciones promocionales. Quien planea debe seleccionar los tamaños de lote para cada tipo de silla, tomando en cuenta los factores económicos como los costos de preparación de la producción y los costos de mantener inventarios.

iPad: costos totales del producto $270		iPad 2: costos totales de producción $267
	Pantalla LCD – 9.7 pulgadas de multitoque $59	Pantalla LCD – 9.7 pulgadas de multitoque $50
	Cámara – ninguna $0	Cámara – frontal y trasera $4.50
	Memoria – Samsung $47	Memoria – Samsung/Toshiba $30
	Procesador Apple – Apple A4 $17	Procesador Apple – Apple A5 $25
	Componentes de radio Infineon/Broadcom $26	Componentes de radio Infineon/Broadcom o Qualcomm/Broadcom $25
	Sensores – STMicroelectronics $1.00	Sensores – STMicroelectronics $2.50
	Batería $23	Batería $20 – $25
		

Lista de materiales para iPad y iPad 2 de Apple.

D. Hurst/Alamy and PSL Images/Alamy

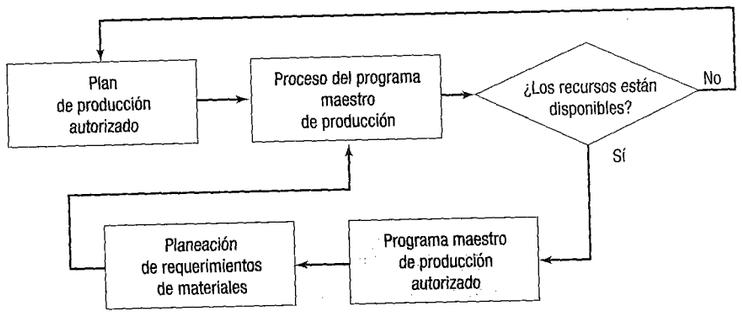
FIGURA 16.5 ▶
MPS para una familia de sillas

	Abril				Mayo			
	1	2	3	4	5	6	7	8
Silla con respaldo-escalerilla	150					150		
Silla de cocina				120			120	
Silla de escritorio		200	200		200			200
Plan de ventas y operaciones para la familia de sillas	670				670			

3. Las limitaciones de capacidad y cuellos de botella, como capacidad de máquinas o de mano de obra, o el capital de trabajo, pueden determinar el tiempo y tamaño de las cantidades en el MPS. El que planea debe reconocer estas limitaciones y admitir que algunos modelos de sillas requieren más recursos que otros, para establecer el tiempo y tamaño de las cantidades de producción acordes con esto.

La figura 16.6 muestra el proceso de la programación maestra de la producción. Operaciones debe primero crear un MPS prospectivo para probar si se cumple el programa con los recursos (esto es, capacidades de máquinas, fuerza de trabajo, tiempo extra y subcontratación) proporcionados en el plan de ventas y operaciones. Después, el departamento de operaciones revisa el MPS hasta desarrollar un programa que satisfaga todas las limitaciones de recursos o hasta que se determine que no se puede desarrollar un programa viable. En este caso, el plan de producción debe revisarse para ajustar los requerimientos de producción o incrementar los recursos autorizados. Una vez que los administradores de la empresa aceptan el proyecto de MPS, operaciones utiliza el MPS autorizado como entrada para la planeación de requerimientos de materiales. Operaciones entonces determinaría la programación específica para la producción de componentes y ensamble. Los datos de desempeño real, como niveles de inventario y faltantes, son entradas para preparar el proyecto de MPS para el siguiente periodo, de manera que el proceso del programa maestro de producción se repite de un periodo a otro.

FIGURA 16.6 ▶
Proceso de programa maestro de producción



Desarrollo de un programa maestro de producción El proceso de desarrollar un programa maestro de producción incluye: **1.** calcular la proyección para el inventario disponible y **2.** determinar el tiempo y tamaño de las cantidades de producción de los productos específicos. Utilizaremos el ejemplo del fabricante de la silla respaldo-escalerilla para ilustrar el proceso. Por sencillez, suponemos que la empresa no utiliza inventarios de seguridad para los artículos finales, aun cuando muchas empresas lo hacen. Además, utilizamos semanas como nuestro periodo de planeación, aunque se pueden usar horas, días o meses.

Paso 1. *Calcular la proyección para el inventario disponible.* El primer paso es calcular el inventario disponible proyectado, que es una estimación de la cantidad de inventario disponible cada semana después de satisfacer la demanda:

$$\text{Proyección de inventario disponible al final de esta semana} = \text{Inventario disp. al final de la semana pasada} + \text{Cantidad del MPS por entregar al inicio de esta semana} - \text{Requerimientos proyectados esta semana}$$

En algunas semanas es posible que no se necesite una cantidad del MPS para un producto porque existe suficiente inventario. Para los requerimientos proyectados para esta semana, el programador utiliza lo que sea más grande entre el pronóstico y las órdenes recibidas de los clientes, reconociendo que el pronóstico está sujeto a error. Si las órdenes recibidas reales exceden el pronóstico, la proyección será más exacta si el programador usa esta cantidad porque las órdenes recibidas es una cantidad conocida. Al contrario, si el pronóstico excede las órdenes recibidas para una semana, el pronóstico proporcionará una mejor estimación de los requerimientos necesarios para esa semana porque tal vez algunas órdenes no hayan llegado.

El fabricante de las sillas con respaldo-escalerilla produce la silla para almacenar y necesita desarrollar un MPS para ello. Marketing ha pronosticado la demanda en 30 sillas para la primera semana de abril, pero las órdenes recibidas de los clientes son por 38 sillas. El inventario disponible actual es de 55 sillas. No se necesita una cantidad del MPS en la semana uno. La figura 16.7 muestra un registro MPS con estas cantidades. Como las órdenes recibidas para una semana son mayores que el pronóstico, el programador utiliza esta cifra de órdenes reales para calcular el saldo de inventario proyectado al final de la semana uno:

$$\text{Inventario} = \text{55 sillas ahora en almacén} + \text{Cantidad MPS (0 para semana 1)} - \text{38 sillas prometidas para entrega en la semana 1} = 17 \text{ sillas}$$

En la semana dos, la cantidad pronosticada excede las órdenes recibidas, por lo que el inventario disponible proyectado para el final de la semana dos es $17 + 0 - 30 = -13$. El faltante indica la necesidad de que se produzcan y tengan más sillas para la semana dos.

Paso 2. *Determinar el tiempo y el tamaño de las cantidades del MPS.* La meta de determinar el tiempo y tamaño de las cantidades del MPS para mantener un inventario disponible proyectado no negativo. Cuando se detectan faltantes en el inventario, las cantidades del MPS deben programarse para cubrirlas. La primera cantidad MPS debe programarse para la semana en que el inventario disponible proyectado refleja un faltante, como la semana dos en la figura 16.7.[1] El programador agrega a la cifra del MPS la cantidad proyectada de inventario disponible para el siguiente periodo cuando ocurre un faltante. Este faltante indica una necesidad de una segunda cantidad del MPS, y así sucesivamente.

La figura 16.8 muestra un programa maestro de producción para la silla con respaldo-escalerilla para las siguientes ocho semanas. La política de ordenar requiere tamaños de lotes de 150 unidades. Ocurrirá un faltante de 13 sillas en la semana dos, a menos que el programador las incluya en la cantidad del MPS para ese periodo. Nuestra convención es mostrar cuadros en blanco en

[1] En algunos casos, las nuevas órdenes se planearán antes que se encuentre un faltante. Dos ejemplos de ello ocurren cuando se acumulan inventarios de seguridad e inventarios anticipados.

Artículo: silla respaldo-escalerilla

Cantidad disponible: 55	Abril 1	Abril 2
Pronóstico	30	30
Órdenes de clientes (recibidas)	38	27
Inventario disponible proyectado	17	–13
Cantidad MPS	0	0
Inicio MPS		

Explicación: El pronóstico es menor que las órdenes recibidas en la semana uno; saldo de inventario disponible proyectado = 55 + 0 – 38 = 17.

Explicación: El pronóstico excede las órdenes recibidas en la semana dos; saldo de inventario disponible proyectado = 17 + 0 – 30 = –13. El faltante indica la necesidad de programar una cantidad MPS para completar la semana dos.

◀ FIGURA 16.7
Programa maestro de producción para las semanas uno y dos.

▼ FIGURA 16.8
Programa maestro de producción para las semanas uno a ocho.

Artículo: silla respaldo-escalerilla
Política de ordenar: 150 unidades
Tiempo de entrega: una semana

Cantidad disponible: 55	Abril 1	Abril 2	Abril 3	Abril 4	Mayo 5	Mayo 6	Mayo 7	Mayo 8
Pronóstico	30	30	30	30	35	35	35	35
Órdenes de clientes (recibidas)	38	27	24	8	0	0	0	0
Inventario disponible proyectado	17	137	107	77	42	7	122	87
Cantidad MPS		150					150	
Inicio MPS	150					150		

Explicación: El tiempo necesario para ensamblar 150 unidades es una semana. El departamento de ensamblaje debe comenzar a ensamblar las sillas en la semana uno para tenerlas listas la semana dos.

Explicación: Saldo de inventario disponible = 17 + 150 – 30 = 137. La cantidad MPS es necesaria para evitar faltantes de 30 – 17 = 13 sillas en la semana dos.

lugar de ceros en todos los renglones; esto mejora la lectura y con frecuencia se utiliza en la práctica. La única excepción se encuentra en el renglón de inventario disponible proyectado, en el que siempre se muestra una cantidad aunque sea 0 o un número negativo.

Una vez programada esta cantidad en el MPS, el saldo de inventario proyectado actualizado para la semana dos es:

$$\text{Inventario} = \begin{matrix}\text{17 sillas en}\\ \text{inventario al final}\\ \text{de la semana 1}\end{matrix} + \begin{matrix}\text{Cantidad del MPS}\\ \text{de 150 sillas}\end{matrix} - \begin{matrix}\text{Pronostico}\\ \text{de 30 sillas}\end{matrix} = 137 \text{ sillas}$$

El programador procede columna por columna, por todo el registro del MPS hasta el final, llenando las cantidades del MPS como se necesite para registrar faltantes. Las 137 unidades van a satisfacer las demandas pronosticadas hasta la semana siete, cuando el faltante en ausencia de una cantidad del MPS es 7 + 0 – 35 = –28. Este faltante indica la necesidad de otra cantidad del MPS de 150 unidades. El inventario actualizado es 7 + 150 – 35 = 122 sillas para la semana siete.

El último renglón de la figura 16.8 indica los periodos en los que la producción de las cantidades del MPS deben *iniciar* para que esté disponible cuando se indique en el renglón de cantidades. En la parte superior izquierda de registro MPS se indica un tiempo de entrega de una semana para la silla respaldo-escalerilla; esto es, se necesita una semana para ensamblar 150 de estas sillas, suponiendo que los artículos B, C, D y E están disponibles. Para cada cantidad del MPS, el programador trabaja hacia atrás en el tiempo de entrega para determinar cuándo el departamento de ensamble deberá iniciar la producción de las sillas. En consecuencia, un lote de 150 unidades debe iniciar en la semana uno y otro en la semana seis.

inventario disponible para promesa (DPP)
Cantidad de artículos finales que el departamento de marketing puede prometer entregar en fechas específicas.

Cantidades disponibles para promesa Además de proporcionar a manufactura los tiempos y tamaños de las cantidades de producción, el MPS proporciona a marketing información útil para negociar con los clientes las fechas de entrega. La cantidad de artículos finales que marketing puede comprometerse a entregar en fechas específicas se llama **inventario disponible para promesa (DPP)**. Es la diferencia entre las órdenes de los clientes ya recibidas y la cantidad que operaciones planea producir. Cuando se aceptan nuevas órdenes, el inventario DPP se reduce para reflejar el compromiso que tiene la empresa de enviar esas cantidades, pero el inventario real queda sin cambio hasta que la orden se saca del inventario y se envía al cliente. Un inventario disponible para promesa está asociado con cada cantidad MPS, ya que esas cantidades especifican el tiempo y tamaño del nuevo inventario que se puede destinar a cumplir órdenes futuras.

▼ **FIGURA 16.9**
Registro MPS con un renglón de DPP

Artículo: silla respaldo-escalerilla — **Política de ordenar:** 150 unidades — **Tiempo de entrega:** 1 semana

		Abril				Mayo			
Cantidad disponible:	55	1	2	3	4	5	6	7	8
Pronóstico		30	30	30	30	35	35	35	35
Órdenes de clientes (recibidas)		38	27	24	8	0	0	0	0
Inventario disponible proyectado		17	137	107	77	42	7	122	87
Cantidad MPS			150					150	
Inicio MPS		150					150		
Inventario disponible para promesa (DPP)		**17**	**91**					150	

Explicación:
Total de órdenes de clientes recibidas hasta la siguiente recepción MPS de 38 unidades. DPP = 55 (disponibles) + 0 (cantidad MPS) – 38 = 17

Explicación:
Total de órdenes de clientes recibidas hasta la siguiente recepción MPD es 27 + 24 + 8 = 59 unidades. DPP = 150 (cantidad MPS) – 59 = 91 unidades.

La figura 16.9 muestra un registro MPS con un renglón adicional para las cantidades disponibles para promesa. El DPP en la semana dos es la cantidad MPS menos las órdenes recibidas hasta la siguiente cantidad MPS, o sea, 150 – (27 + 24 + 8 + 0 + 0) = 91 unidades. El DPP indica a marketing que, de las 150 unidades programadas para terminar en la semana dos, 91 están sin compromiso y se pueden prometer nuevas órdenes por un total de hasta esa cantidad para entregar tan pronto como sea posible en la semana dos. En la semana siete, el DPP es 150 unidades porque no hay órdenes recibidas para esa semana o una posterior.

El procedimiento para calcular la información disponible para promesa es un poco diferente para la primera semana (actual) de la programación que para las otras porque toma en cuenta el inventario disponible actual. El inventario DPP para la primera semana es igual al *inventario disponible actual* más la cantidad MPS para la primera semana, menos el total acumulado de las órdenes recibidas hasta (pero no incluyendo) la semana en la que llega la siguiente cantidad MPS. Así, en la figura 16.9, el DPP para la primera semana es 55 + 0 – 38 = 17. Esta información indica al departamento de ventas que puede prometer hasta 17 unidades esta semana, 91 más en algún momento en las semanas dos a seis y 150 unidades más en las semanas siete a ocho. Si la orden de un cliente excede las cantidades de inventario DPP en esos periodos, el MPS debe cambiar antes de que las órdenes de los clientes se puedan aceptar o deben tener una fecha de entrega posterior: cuando llegue la siguiente cantidad MPS. Véase un ejemplo de toma de decisiones que utiliza las cantidades DPP en el problema resuelto 2 al final de este capítulo.

Quienes planean el inventario no crean planes maestros de producción manualmente, aunque comprenden por completo su lógica. La figura 16.10 es una salida típica del apoyo de computadora existente. Fue creada con el Solver de *Programación maestra de la producción* (*Master Production Sheduling*) en OM Explorer y confirma los resultados mostrados en la figura 16.9.

Tamaño del lote	150								
Tiempo de entrega	1								
Cantidad disponible	55	1	2	3	4	5	6	7	8
Pronóstico		30	30	30	30	35	35	35	35
Órdenes de clientes (recibidas)		38	27	24	8				
Inventario disponible proyectado		17	137	107	77	42	7	122	87
Cantidad MPS			150					150	
Inicio MPS		150					150		
Disponible para promesa (ATP)		17	91					150	

FIGURA 16.10 ▲
Programa maestro de producción, salida del Solver de OM Explorer

Bloqueo del MPS El programa maestro de producción es la base para toda la programación de artículos finales, subensambles, componentes y materiales. Por esta razón, los cambios en las cantidades del MPS pueden ser costosos, especialmente si se hacen en las cantidades del MPS que están por terminarse. Un incremento en una cantidad del MPS quizá dé como resultado faltantes de materiales, retrasos en los envíos a los clientes y costos excesivos de aceleración. El resultado de una disminución en las cantidades del MPS puede ser materiales o componentes sin usar (al menos hasta que surja otra necesidad de usarlo) y capacidad valiosa que se utiliza para crear productos que no se necesitan. Ocurren costos similares cuando las fechas pronosticadas de los requerimientos para las cantidades de MPS se cambian. Por esto, muchas empresas, en particular las que tienen una estrategia de hacer para almacenar y se enfocan en operaciones de bajo costo, *congelan* o bloquean los cambios, en la parte cercana a la terminación del MPS.

Reconciliación del MPS con los planes de ventas y operaciones Debido a que el programa maestro de producción se basa tanto en los pronósticos como en las órdenes recibidas actuales, puede diferir del plan de ventas y operaciones en los diferentes periodos de un mes. Por ejemplo, en la figura 16.5, si la suma total de las cantidades del MPS de tres modelos de sillas en el mes de abril fuera 725 en lugar de 670, entonces la administración debe revisar el plan de ventas y operaciones hacia arriba para autorizar los recursos adicionales que igualen el suministro con la demanda, o bien, deben reducirse las cantidades del MPS en el mes de abril para igualar el plan de ventas y operaciones. Los programas maestros de producción impulsan la planta y la actividad de suministro, de manera que deben sincronizarse con las demandas reales de los clientes y los planes de ventas y operaciones para asegurar que las decisiones de planeación de la empresa, de hecho, están en marcha continuamente.

MyOMLab
El tutor 16.1 en MyOMLab proporciona un nuevo ejemplo para practicar el llenado del programa maestro de producción.

registro de inventario
Registro que muestra la política de tamaño de lote, el tiempo de entrega y otros datos referidos al tiempo.

requerimientos brutos
Demanda total derivada de *todos* los planes de producción de primarios.

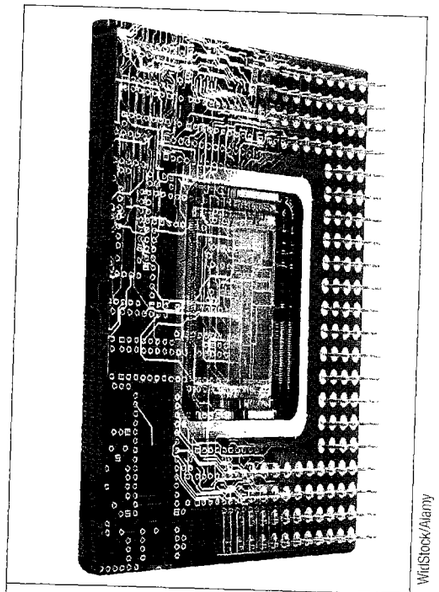
Registro de inventario

Los registros de inventario son la tercera entrada más importante para la PRM, y las transacciones del inventario son los ladrillos básicos para la construcción de registros actualizados (véase la figura 16.2). Estas transacciones incluyen liberar nuevas órdenes, recibir los recibos programados, ajustar las fechas de entrega para las recepciones programadas, retirar inventario, cancelar órdenes, corregir errores de inventario, rechazar envíos y verificar las pérdidas por desperdicio y devoluciones. Registrar las transacciones con precisión es esencial si se quiere que los saldos del inventario disponibles de una empresa sean correctos y que su sistema PRM opere con efectividad.

El **registro de inventario** divide el futuro en periodos llamados *cubos de tiempo*. En nuestro análisis, utilizamos cubos semanales por congruencia con el ejemplo de MPS, aunque pueden utilizarse otros periodos sin problema. El registro de inventario muestra la política de tamaño de lote de un artículo, el tiempo de entrega y varios datos referidos al tiempo. El propósito del registro de inventario es dar seguimiento a los niveles de inventario y las necesidades de reabastecimiento de componentes. La información en el tiempo contenida en el registro de inventario consiste en: **1.** *requerimientos brutos*, **2.** *recepciones programadas*, **3.** *inventario disponible proyectado*, **4.** *recepciones planeadas* y **5.** *liberación de órdenes planeadas*.

Se ilustran los registros de inventario con el subensamble del asiento, artículo C, que se mostró en la figura 16.4. Suponga que se utiliza en dos productos: la silla respaldo-escalerilla y la silla de cocina.

Requerimientos brutos Los **requerimientos brutos** son la demanda total derivada de *todos* los planes de producción de primarios. También incluyen la demanda que no se ha tomado en cuenta en otro lado, como la demanda de


WildStock/Alamy

Cypress Semiconductor, una compañía con sede en California que fabrica dispositivos lógicos, controladores USB, relojes programables para fines generales, memorias y soluciones de conectividad inalámbrica para mercados de consumidores y de automóviles, utiliza soluciones de software comercial para administrar la complejidad de sus procesos del programa maestro de producción.

Artículo: C — **Tamaño de lote:** 230 unidades
Descripción: subensamble de asiento — **Tiempo de entrega:** 2 semanas

	Semana							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos brutos	150	0	0	120	0	150	120	0
Recepción programada	230	0	0	0	0	0	0	0
Inventario disponible proyectado 37	117	117	117	−3	−3	−153	−273	−273
Recepción planeada								
Liberación de orden planeada								

Explicación:
Los requerimientos netos son la demanda total de las dos sillas. El inventario disponible proyectado en la semana uno es 37 + 230 − 150 = 117 unidades.

FIGURA 16.11 ▲
Registro PRM para el subensamble del asiento

refacciones para unidades vendidas. La figura 16.11 muestra un registro de inventario para el artículo C, el subensamble del asiento. El artículo C se produce en lotes de 230 unidades y tiene un tiempo de entrega de dos semanas. El registro de inventario muestra los requerimientos brutos del artículo C para las siguientes ocho semanas, que tienen su origen en el programa maestro de producción para las sillas respaldo-escalerilla y de cocina (véase la figura 16.5). Las cantidades del MPS para cada primario se suman para llegar a los requerimientos brutos de cada semana. Los requerimientos brutos del subensamble del asiento exhiben una demanda irregular: Operaciones retirara asientos del inventario solo en cuatro semanas de las ocho.

El sistema PRM trabaja con las fechas de liberación para programar la producción y entrega de componentes y subensambles. La lógica del programa anticipa la remoción de todos los materiales requeridos del inventario por una orden de producción de un primario al principio del tiempo de entrega del primario, cuando el programador libera la orden a la planta.

Recepciones programadas Recuerde que las *recepciones programadas* (algunas veces llamadas órdenes abiertas) son órdenes colocadas, pero que todavía no se completan. Para un artículo comprado, la recepción programada puede estar en una de varias etapas: en el proceso del proveedor, en transporte hacia el comprador o en inspección del departamento de recepción del comprador. Si la empresa fabrica su propio artículo, la orden puede estar en proceso en la planta, en espera de componentes, en espera de una máquina o en espera de que lo muevan a la siguiente operación. Según la figura 16.11, una orden de 230 unidades del artículo C debe entregarse en la semana uno. Dado el tiempo de entrega de dos semanas, el que planea el inventario tal vez liberó la orden hace dos semanas. Las recepciones programadas para un tiempo posterior al tiempo de entrega del artículo son inusuales, ocasionadas por eventos como cambios de último minuto en el MPS.

inventario disponible proyectado
Estimación de la cantidad de inventario disponible cada semana después de satisfacer los requerimientos brutos.

Inventario disponible proyectado El **inventario disponible proyectado** es una estimación de la cantidad de inventario disponible cada semana después de satisfacer los requerimientos brutos. El inventario inicial, mostrado como la primera entrada (37) en la figura 16.11, indica el inventario disponible en el momento de calcular el registro. Igual que con las recepciones programadas, se colocan entradas para cada retiro y recepción reales para actualizar la base de datos del PRM. Entonces, cuando el sistema PRM produce el registro revisado, aparecerá el inventario correcto.

Otras entradas en el renglón muestran el inventario esperado en semanas futuras. El inventario disponible se calcula como:

$$\text{Inventario disponible proyectado al final de la semana } t = \text{Inventario disp. al final de la semana } t-1 + \text{Recepciones programadas o planeadas en la semana } t - \text{Requerimientos brutos en la semana } t$$

recepciones planeadas
Órdenes que no se han liberado a la planta o al proveedor.

El cálculo del inventario disponible proyectado incluye la consideración de las **recepciones planeadas**, que son órdenes que todavía no se liberan a la planta o el proveedor. Las recepciones planeadas no deben confundirse con las recepciones programadas. Las recepciones planeadas están en la etapa de planeación y todavía pueden cambiar de una semana a la siguiente, mientras que las recepciones programadas son órdenes reales sobre las cuales la planta o el proveedor está actuando. En la figura 16.11, las recepciones planeadas son todas cero. Los cálculos del inventario disponible para cada semana son los siguientes:

Semana 1: $37 + 230 - 150 = 117$
Semanas 2 y 3: $117 + 0 - 0 = 117$
Semana 4: $117 + 0 - 120 = -3$
Semana 5: $-3 + 0 - 0 = -3$
Semana 6: $-3 + 0 - 150 = -153$
Semana 7: $-153 + 0 - 120 = -273$
Semana 8: $-273 + 0 - 0 = -273$

En la semana 4 el saldo baja a −3 unidades, lo cual indica que ocurrirá un faltante de 3 unidades a menos que se acumulen más subensambles de asiento. Esta condición señala la necesidad de una recepción planeada que llegue en la semana 4. Además, a menos que se reciban más unidades, el faltante crecerá a 273 unidades en las semanas 7 y 8.[2]

Recepciones planeadas Planear una recepción de nuevas órdenes mantendrá el saldo disponible sin bajar de cero. Las recepciones planeadas se desarrollan como sigue:

1. El inventario disponible semanal se proyecta hasta que aparece un faltante. Completar las recepciones planeadas iniciales se programa para la semana en la que se proyecta el faltante. Agregar la nueva recepción planeada debe aumentar el saldo disponible proyectado. Excederá de cero cuando el tamaño del lote exceda los requerimientos en la semana en que se planea su llegada.
2. La proyección del inventario disponible continúa hasta que ocurre el siguiente faltante. Este faltante señala la necesidad de una segunda recepción planeada.

Este proceso se repite hasta el final del horizonte de planeación procediendo columna por columna del registro de PRM, ingresando las recepciones planeadas conforme se necesiten y completando el renglón de inventario disponible proyectado. La figura 16.12 muestra las recepciones planeadas para el subensamble del asiento. En la semana cuatro, el inventario disponible proyectado bajará de cero, de manera que se programa una recepción de 230 unidades para la semana cuatro. El inventario actualizado disponible es 117 (inventario al final de la semana 3) + 230 (recepción planeada) − 120 (requerimientos brutos) = 227 unidades. El inventario disponible proyectado se mantiene en 227 en la semana cinco porque no se anticipan recepciones programadas o requerimientos brutos. En la semana seis, el inventario disponible proyectado es 227 (inventario al final de la semana cinco) − 150 (requerimientos brutos) = 77 unidades. Esta cantidad es mayor que cero, de manera que no se necesitan nuevas recepciones planeadas. En la semana siete; sin embargo, ocurrirá un faltante a menos que se reciban más subensambles de asiento. Con una recepción planeada en la semana siete, el saldo del inventario actualizado es 77 (inventario al final de la semana seis) + 230 (recepción planeada) − 120 (requerimientos brutos) = 187 unidades.

Artículo: C — **Tamaño de lote:** 230 unidades
Descripción: subensamble de asiento — **Tiempo de entrega:** dos semanas

	Semana							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos brutos	150	0	0	120	0	150	120	0
Recepciones programadas	230	0	0	0	0	0	0	0
Inventario disponible proyectado 37	117	117	117	227	227	77	187	187
Recepciones planeadas				230			230	
Liberaciones de órdenes planeadas		230			230			

Explicación:
Sin una recepción planeada en la semana cuatro, ocurrirá un faltante de tres unidades: 117 + 0 + 0 − 120 = −3 unidades. Agregar una recepción planeada sube el saldo a 117 + 0 + 230 − 120 = 227 unidades. Para compensar un tiempo de entrega de dos semanas, la orden planeada correspondiente debe estar en la semana dos.

Explicación:
La primera recepción planeada dura hasta la semana siete, cuando el inventario proyectado baja a 77 + 0 + 0 − 120 = −43 unidades. Agregar la segunda recepción planeada sube el saldo a 77 + 0 + 230 − 120 = 187 unidades. La liberación de la orden planeada correspondiente es para la semana cinco (o semana siete menos dos semanas).

▲ **FIGURA 16.12**
Registro de inventario completo para el subensamble del asiento.

liberación de orden planeada
Indicación de cuándo debe emitirse una orden por una cantidad especificada de un artículo.

Liberaciones de órdenes planeadas Una **liberación de orden planeada** indica cuándo debe emitirse una orden por una cantidad específica de un artículo. Debemos colocar la cantidad de la liberación planeada en el cubo de tiempo apropiado. Para hacerlo, debemos suponer que todos los flujos del inventario —recepciones programadas, recepciones planeadas y requerimientos brutos— ocurren en el mismo punto en el tiempo dentro de un mismo periodo. Algunas empresas suponen que todos los flujos ocurren al principio de un periodo, otras suponen que ocurren al final o a la mitad del periodo. Sin importar cuando se suponga que ocurren los flujos, encontramos la fecha de liberación restando el tiempo de entrega de la fecha de recepción. Por ejemplo, la fecha de liberación para la primera orden planeada en la figura 16.12 es 4 (fecha de recepción planeada) − 2 (tiempo de entrega) = 2 (fecha de liberación de la orden planeada). La figura 16.12 muestra las liberaciones planeadas para el subensamble del asiento. Si todo va según el plan, se liberará una orden de 230 subensambles de asiento la siguiente semana (en la semana dos). Esta liberación de orden pone en marcha una serie de actualizaciones del registro de inventario. Primero, la liberación planeada de la orden se elimina del registro. Luego, la recepción planeada de 230 unidades en la semana cuatro también se elimina. Por último, aparecerá una nueva recepción programada de 230 unidades en el renglón de recepciones programadas en la semana cuatro.

[2] Hay una excepción a la regla de programar una recepción planeada siempre y cuando el inventario proyectado sin esa recepción se vuelva negativo. Cuando una recepción planeada va a llegar *después* de que el inventario se vuelve negativo, el primer recurso es acelerar la recepción programada (dándole una fecha de entrega más cercana), en lugar de programar una nueva recepción planeada.

Factores de planeación

Los factores de planeación en un registro de inventario PRM tienen un papel importante en el desempeño global del sistema PRM. Al manipular estos factores, los administradores pueden afinar las operaciones de inventarios. En esta sección, analizamos el tiempo de entrega planeado, las reglas para los tamaños de lote y el inventario de seguridad.

Tiempo de entrega planeado El tiempo de entrega planeado es una estimación del tiempo entre colocar una orden para un artículo y recibirlo en el almacén. La precisión es importante al planear el tiempo de entrega. Si un artículo llega al inventario antes de que se necesite, los costos de mantener el inventario aumentan. Si un artículo llega demasiado tarde, ocurren faltantes o costos de aceleración excesivos o ambos.

Para los artículos comprados, el tiempo de entrega planeado es el tiempo permitido para recibir un envío del proveedor después de colocar la orden, incluyendo el tiempo normal para colocar la orden. Con frecuencia, el contrato de compra estipula la fecha de entrega. Para los artículos fabricados en casa, se obtiene una estimación gruesa dando seguimiento a los tiempos de entrega reales para las órdenes recientes y calculando un promedio. Un proceso de estimación más extenso consiste en el desglose de cada uno de los siguientes factores:

- Tiempo de preparación.
- Tiempo de proceso.
- Tiempo de manejo de materiales entre operaciones.
- Tiempo de espera.

Debe estimarse cada uno de estos tiempos para cada operación en la ruta del artículo. Estimar los tiempos de preparación, proceso y manejo de materiales suele ser sencillo, pero estimar el tiempo de espera para el equipo que maneja los materiales o para que la estación de trabajo realice una operación dada sería más difícil. En una instalación que utiliza la estrategia de fabricar por pedido, como en un taller de máquinas, la carga de trabajo en el taller varía considerablemente en el tiempo, que genera que los tiempos de espera reales para un pedido específico fluctúen ampliamente. Por lo tanto, lograr estimar con precisión los tiempos de espera es muy importante cuando se utilizan para calcular el tiempo de entrega planeado. Sin embargo, en una instalación que utiliza la estrategia de fabricar para almacenar, como en una planta de ensamble, las rutas de los productos son estándar y los tiempos de espera son más predecibles; entonces, el tiempo de espera es una parte menos problemática de la planeación de los tiempos de entrega.

Reglas para los tamaños de lote Una regla para tamaños de lote determina el tiempo y tamaño de las cantidades a ordenar. Debe asignarse una regla de tamaño de lote a cada artículo antes de calcular las recepciones planeadas y la liberación de órdenes planeada. La elección de la regla del tamaño de lote es importante porque determina el número de preparaciones requeridas y los costos de mantener inventario para cada artículo. Presentamos tres reglas de tamaño de lote: **1.** cantidad fija a ordenar, **2.** cantidad periódica a ordenar y **3.** lote por lote.

cantidad fija a ordenar (FOQ)
Regla que mantiene la misma cantidad a ordenar cada vez que se emite una orden.

Cantidad fija a ordenar La regla de la **cantidad fija a ordenar (FOQ**, *fixed order quantity*) mantiene la misma cantidad a ordenar cada vez que se emite una orden.[3] Por ejemplo, el tamaño de lote puede ser determinado por los límites de capacidad del equipo, como cuando debe cargarse un lote completo a la vez en un horno. Para artículos comprados, la FOQ se determina por el nivel de descuento por cantidad, la capacidad del camión o la compra mínima. De otra manera, el tamaño de lote puede determinarlo la fórmula FOQ del lote económico (véase el capítulo 9, "Administración del inventario de la cadena de suministro"). La figura 16.12 ilustró la regla FOQ. Sin embargo, si los requerimientos brutos de un artículo en una semana son particularmente grandes, la FOQ puede ser insuficiente para evitar un faltante. En esos casos inusuales, quien planea el inventario debe incrementar el tamaño de lote a más que el FOQ, a un tamaño suficientemente grande para evitar faltantes. Otra opción es obtener una cantidad a ordenar como un múltiplo entero de FOQ. Esta opción es apropiada cuando las restricciones de capacidad limitan la producción a tamaños iguales a FOQ (cuando mucho).

cantidad periódica a ordenar (POQ)
Regla que permite una cantidad diferente a ordenar para cada orden emitida, pero emite las órdenes en intervalos predeterminados.

Cantidad periódica a ordenar La regla de la **cantidad periódica a ordenar (POQ**, *periodic order quantity*) permite una cantidad a ordenar diferente para cada orden emitida, pero emite las órdenes en intervalos predeterminados, como cada dos semanas. La cantidad a ordenar es igual a la cantidad de artículos necesarios durante el tiempo predeterminado entre órdenes y debe ser suficientemente grande para prevenir faltantes. Particularmente, la POQ es:

$$\text{Tamaño de lote POQ que llegará en la semana } t = \text{Requerimientos brutos totales para } P \text{ semanas, incluyendo la semana } t - \text{Inventario disponible proyectado al final de la semana } t-1$$

Esta cantidad cubre justo los requerimientos brutos para la semana P. Es decir, el inventario disponible debe ser igual a cero al final de la semana P.

[3] El sistema *kanban* utiliza esencialmente una regla FOQ, excepto que la cantidad a ordenar es muy pequeña.

Suponga que queremos cambiar de la regla FOQ a la regla POQ utilizada en la figura 16.12. La figura 16.13 se creó con el Solver de un *solo artículo* en OM Explorer. Muestra la aplicación de la regla POQ con $P = 3$ semanas, para el inventario del subensamble de asiento. La primera orden se requiere en la semana cuatro porque es la primera semana que el inventario proyectado cae por debajo de cero. La primera orden usando $P = 3$ semanas es:

MyOMLab
El tutor 16.2 en MyOMLab proporciona un nuevo ejemplo para practicar las decisiones de tamaño de lote con las reglas FOQ, POQ y L×L.

$$\text{Tamaño de lote POQ} = \text{Requerimientos brutos para las semanas 4, 5 y 6} - \text{Inventario al final de la semana 3}$$

$$= (120 + 0 + 150) - 117 = 153 \text{ unidades}$$

La segunda orden debe llegar en la semana siete con un tamaño de lote $(120 + 0) - 0 = 120$ unidades. Esta segunda orden refleja solo dos semanas de requerimientos brutos: hasta el final del horizonte de planeación.

Periodos 8
Artículo
Descripción Ensamble de asiento — Periodo (*P*) para POQ 3 — Tamaño de lote (FOQ)
Regla POQ — Tiempo de entrega 2

	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos brutos	150			120		150	120	
Recepciones programadas	230							
Inventario disponible proyectado 37	117	117	117	150	150			
Recepciones planeadas				153				
Liberaciones de órdenes planeadas		153			120			

◀ **FIGURA 16.13**
La regla POQ ($P = 3$) para el subensamble del asiento

La regla POQ no significa que el que planea deba emitir una nueva orden cada P semanas. Más bien, cuando se planea una orden, su tamaño de lote debe ser suficiente para cubrir P semanas sucesivas. Una manera de seleccionar un valor P es dividir el tamaño promedio de lote deseado, como el EOQ o algún otro tamaño de lote, entre la demanda semanal promedio, es decir, se expresa el tamaño de lote meta como las semanas deseadas de suministro (P) y se redondea al entero más cercano.

Lote por lote Un caso especial de la regla POQ es la **regla de lote por lote (L×L)**, con la cual el tamaño de lote ordenado cubre los requerimientos brutos de una sola semana. Así, $P = 1$ y la meta es minimizar los niveles de inventario. Esta regla asegura que la orden planeada es suficientemente grande para evitar un faltante en la semana que cubre. El tamaño del L×L es:

regla de lote por lote (L×L)
Regla con la cual el tamaño de lote ordenado cubre los requerimientos brutos de una sola semana.

$$\text{Tamaño de lote L} \times \text{L que llega en la semana } t = \text{Requerimientos brutos para la semana } t - \text{Inventario disponible proyectado al final de la semana } t-1$$

El inventario disponible proyectado combinado con la nueva orden será igual a cero al final de la semana t. Al seguir la primera orden planeada, se emitirá una orden planeada adicional para igualar cada requerimiento bruto subsecuente.

Esta vez queremos cambiar de la regla FOQ a la regla L×L. La figura 16.14 muestra la aplicación de la regla L×L al inventario del subensamble de asiento. Como antes, la primera orden se necesita en la semana cuatro:

$$\text{Tamaño de lote L} \times \text{L} = \text{Requerimientos brutos para la semana 4} - \text{Inventario al final de la semana 3}$$

$$= 120 - 117 = 3$$

Periodos 8
Artículo
Descripción Ensamble de asiento — Periodo (*P*) para POQ — Tamaño de lote (FOQ)
Regla L×L — Tiempo de entrega 2

	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos brutos	150			120		150	120	
Recepciones programadas	230							
Inventario disponible proyectado 37	117	117	117					
Recepciones planeadas				3		150	120	
Liberaciones de órdenes planeadas		3		150	120			

◀ **FIGURA 16.14**
Regla L×L para el subensamble del asiento

El almacén debe recibir órdenes adicionales en las semanas seis y siete para satisfacer cada uno de los requerimientos subsecuentes. La recepción planeada para la semana seis es 150 y para la semana siete es 120.

Comparación de las reglas de tamaño de lote Elegir la regla del tamaño de lote suele tener implicaciones importantes para la administración del inventario. Las reglas de tamaño de lote afectan los costos de inventario y de preparación y los costos de ordenar. Las reglas FOQ, POQ y L×L difieren una de otra en uno o más aspectos. En nuestro ejemplo, cada regla surte efecto en la semana cuatro, cuando se coloca la primera orden. Comparamos el inventario disponible promedio proyectado en las semanas cuatro a ocho del horizonte de planeación. Los datos se muestran en las figuras 16.12, 16.13 y 16.14, respectivamente.

$$\text{FOQ: } \frac{227 + 227 + 77 + 187 + 187}{5} = 181 \text{ unidades}$$

$$\text{POQ: } \frac{150 + 150 + 0 + 0 + 0}{5} = 60 \text{ unidades}$$

$$\text{L×L: } \frac{0 + 0 + 0 + 0 + 0}{5} = 0 \text{ unidades}$$

El desempeño de la regla L×L respecto de los niveles de inventario promedio se logra a costa de una orden adicional planeada y su tiempo y costo de preparación correspondiente. Podemos obtener tres conclusiones de esta comparación:

1. La regla FOQ genera un alto nivel de inventario promedio porque crea *remanentes*. Un remanente es inventario que pasa una semana, pero es demasiado pequeño para prevenir un faltante. Los remanentes ocurren porque el FOQ no es exactamente igual a los requerimientos. Por ejemplo, de acuerdo con la figura 16.12, el almacén debe recibir una orden planeada en la semana siete, aun cuando se dispone de 77 unidades al principio de esa semana. El remanente es 77 unidades que el almacén guarda durante tres semanas, comenzando en la recepción de la primera orden planeada en la semana cuatro. Aunque aumentan los niveles de inventario promedio, los remanentes introducen estabilidad en el proceso de producción porque amortiguan pérdidas por remanentes inesperados , la capacidad de los cuellos de botella, los registros de inventario inexactos o los requerimientos brutos no estables.
2. La regla POQ reduce la cantidad de inventario disponible promedio porque es mejor igualando la cantidad a ordenar con los requerimientos. Ajusta el tamaño de lote conforme los requerimientos aumentan o disminuyen. La figura 16.13 muestra que en la semana siete, cuando la regla POQ ya surtió efecto, el inventario disponible proyectado es cero, esto es, no hay remanentes.
3. La regla L×L minimiza la inversión en inventario, pero también maximiza el número de órdenes colocadas. Esta regla es la que más se aplica a artículos costosos o con costos de ordenar y de preparación bajos. Es la única regla que se puede usar para un artículo de bajo volumen fabricado por pedido. También aproxima los niveles de inventario de lotes pequeños en los sistemas esbeltos.

Al evitar los remanentes, las reglas tanto POQ como L×L pueden introducir inestabilidad al ligar la decisión del tamaño de lote de manera tan cercana a los requerimientos. Si algún requerimiento cambia, también debe cambiar el tamaño de lote, lo cual puede desorganizar los programas de componentes. Los incrementos de último minuto en las órdenes de primarios suelen entorpecerse por las componentes faltantes.

▼ **FIGURA 16.15**
Registro de inventario para el subensamble de asiento que muestra la aplicación de inventario de seguridad

Regla FOQ — **Tamaño de lote:** 230 unidades; **Tiempo de entrega:** 2 semanas; **Inventario de seguridad:** 80 unidades

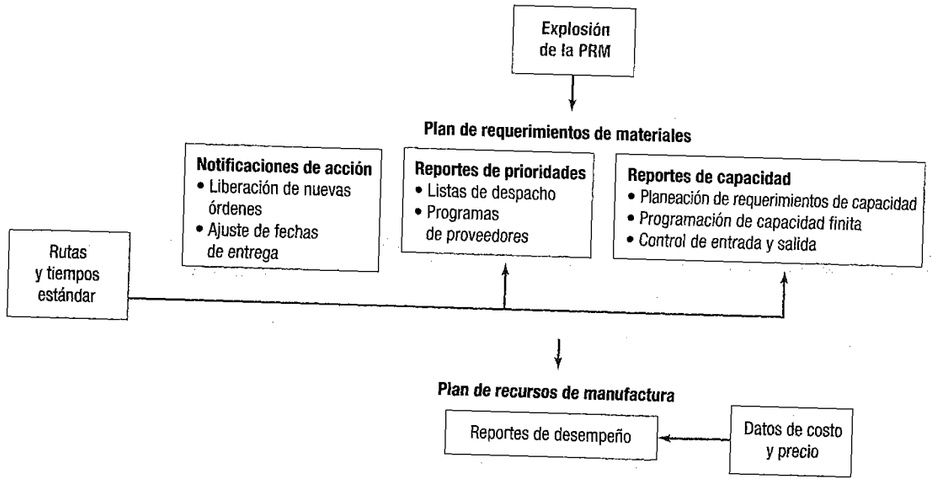
	Semana							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos brutos	150	0	0	120	0	150	120	0
Recepciones programadas	230	0	0	0	0	0	0	0
Inventario disponible proyectado 37	117	117	117	227	227	307	187	187
Recepciones planeadas	0	0	0	230	0	230	0	0
Liberaciones de órdenes planeadas	0	230	0	230	0	0	0	0

Inventario de seguridad Una decisión administrativa importante es la cantidad de inventario de seguridad mantenida. Es más compleja para artículos de demanda dependiente que para artículos de demanda independiente. El inventario de seguridad para artículos de demanda dependiente con demanda irregular (requerimientos brutos) es útil solo cuando los requerimientos brutos, el tiempo o el tamaño de lote de las recepciones programadas y la cantidad de desperdicio que se producirá son inciertos. Conforme se resuelven las incertidumbres, el inventario de seguridad debe reducirse y al final eliminarse. La política usual es utilizar el inventario de seguridad para artículos finales y artículos comprados como protección contra fluctuaciones en las órdenes de los clientes y proveedores no confiables de componentes, pero evitar usarlo todo lo posible para artículos intermedios. Los inventarios de seguridad se pueden incorporar en la lógica del PRM utilizando la siguiente regla: programar una recepción planeada siempre que el inventario disponible proyectado baje del nivel deseado de inventario de seguridad (y no de cero, como antes). El objetivo es mantener un nivel mínimo

de inventarios planeados igual a la cantidad de inventario de seguridad. La figura 16.15 muestra qué ocurre cuando los requerimientos del inventario de seguridad acaban de aumentar de 0 a 80 unidades para el ensamble del asiento usando una FOQ de 230 unidades. La cantidad inicial disponible proyectada todavía es 37 unidades cuando se introduce la política de inventario de seguridad y puede bajar de 80 unidades en los periodos futuros. Compare los resultados de la figura 16.15 con los de la figura 16.12. El efecto neto es mover la segunda liberación de orden planeada de la semana cinco a la semana cuatro para evitar bajar de 80 unidades en la semana seis.

Salidas de la PRM

Los sistemas PRM proporcionan muchos reportes, programas y notificaciones para ayudar al que planea controlar los inventarios de demanda dependiente, como se indica en la figura 16.16. En esta sección analizamos el proceso de explosión de la PRM, las notificaciones que alertan a quien planea acerca de artículos que necesitan atención, los reportes de requerimientos de recursos y los reportes de desempeño.



◀ **FIGURA 16.16**
Salidas de la PRM

Explosión de la PRM La PRM traduce, o *explota*, el MPS y otras fuentes de demanda en los requerimientos necesarios para todos los subensambles, componentes y materias primas de la empresa para producir los artículos primarios. Este proceso genera el plan de requerimientos de materiales para cada artículo componente.

Los requerimientos brutos de un artículo se derivan de tres fuentes:

1. El MPS que da los primarios inmediatos que son artículos finales.
2. Las liberaciones de órdenes planeadas (*no* los requerimientos brutos, recepciones programadas o recepciones planeadas) de los primarios inmediatos abajo del nivel del MPS.
3. Cualesquiera otros requerimientos que no se originan en el MPS, como la demanda de refacciones.

Considere el subensamble del asiento y su registro de inventario mostrado en la figura 16.12. El subensamble del asiento requiere un cojín y un marco, que a su vez necesita cuatro tablones. Su lista de materiales (BOM) se muestra en la figura 16.17 (véase también la figura 16.4, que muestra la relación de la BOM del subensamble de asiento con el producto como un todo). ¿Cuántos asientos debemos ordenar al proveedor? ¿Cuántos marcos de asiento debemos producir para apoyar el programa de subensamble de asiento? ¿Cuántos tablones necesitamos hacer? Las repuestas a estas preguntas dependen de los inventarios existentes de estos artículos y las órdenes de reabastecimiento que ya están en proceso. La PRM puede ayudar a responder estas preguntas mediante el proceso de explosión.

La figura 16.18 presenta los registros PRM para el subensamble de asiento y sus componentes. Ya mostramos cómo desarrollar un registro PRM para el subensamble de asiento. Ahora nos concentramos en los registros PRM de sus componentes. Las reglas de tamaño de lote tienen una FOQ de 300 unidades por el marco de asiento, L×L para el cojín y una FOQ de 1,500 unidades para los tablones del marco. Las tres componentes tienen un tiempo de entrega de una semana. La clave del proceso de explosión es determinar el tiempo y tamaño apropiados de los requerimientos brutos para cada componente. Después de hacer esas determinaciones, podemos derivar la programación para la liberación de la orden planeada para cada componente utilizando la lógica ya demostrada.

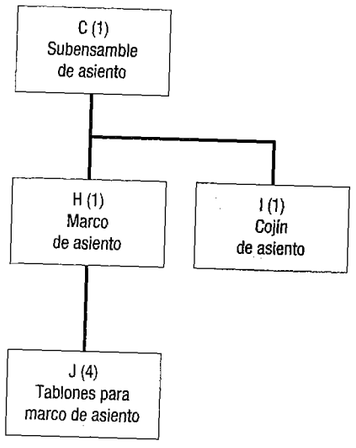


FIGURA 16.17 ▲
BOM para el subensamble de asiento

Artículo: subensamble de asiento
Tamaño de lote: 230 unidades

Tiempo de entrega: 2 semanas	Semana 1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos brutos	150	0	0	120	0	150	120	0
Recepción programada	230	0	0	0	0	0	0	0
Inventario disponible proyectado 37	117	117	117	227	227	77	187	187
Recepción planeada				230			230	
Liberación de orden planeada		230			230			

Cantidad de uso: 1

Cantidad de uso: 1

Artículo: marcos de asiento
Tamaño de lote: 300 unidades

Tiempo de entrega: 1 semana	Semana 1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos brutos	0	230	0	0	230	0	0	0
Recepción programada	0	300	0	0	0	0	0	0
Inventario disponible 40 proyectado	40	110	110	110	180	180	180	180
Recepción planeada					300			
Liberación de orden planeada				300				

Artículo: cojín de asiento
Tamaño de lote: L×L

Tiempo de entrega: 1 semana	Semana 1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos brutos	0	230	0	0	230	0	0	0
Recepción programada	0	0	0	0	0	0	0	0
Inventario disponible 0 proyectado	0	0	0	0	0	0	0	0
Recepción planeada		230			230			
Liberación de orden planeada	230			230				

Cantidad de uso: 4

Artículo: tablones para marco de asiento
Tamaño de lote: 1,500 unidades

Tiempo de entrega: 1 semana	Semana 1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos brutos	0	0	0	1,200	0	0	0	0
Recepción programada	0	0	0	0	0	0	0	0
Inventario disponible 200 proyectado	200	200	200	500	500	500	500	500
Recepción planeada				1,500				
Liberación de orden planeada			1,500					

FIGURA 16.18 ▲
Explosión PRM de componentes del ensamble de asiento

En nuestro ejemplo, los componentes no tienen demanda independiente de refacciones. En consecuencia, en la figura 16.18 los requerimientos brutos de una componente vienen de la liberación de una orden planeada de sus primarios. El marco del asiento y el cojín del asiento obtienen sus requerimientos brutos de las liberaciones programadas de las órdenes planeadas para el subensamble de asiento. Ambos componentes tienen requerimientos brutos de 230 unidades en las semanas dos y cinco, las mismas semanas en las que se liberarán las órdenes para hacer más subensambles de asientos. En la semana dos, por ejemplo, el que maneja materiales para el departamento de ensamble sacará 230 marcos de asiento y 230 cojines del inventario para que se puedan producir los subensambles de asientos a tiempo para evitar faltantes en la semana cuatro. Los planes de materiales para el marco y cojín deben permitirlo.

Con los requerimientos brutos en las semanas dos y cinco, podemos desarrollar los registros de PRM para el marco del asiento y el cojín del asiento, como se muestra en la figura 16.18. Para una recepción programada de 300 marcos de asiento en la semana dos, una cantidad de 40 unidades disponibles y un tiempo de entrega de una semana, debemos liberar una orden de 300 marcos en la semana cuatro para cubrir el programa de ensamble para el subensamble de asiento. El cojín no tiene recepciones programadas y no hay inventario disponible; en consecuencia, debemos colocar órdenes por 230 unidades en las semanas uno y cuatro, usando la lógica L×L con un tiempo de entrega de una semana.

Después de determinar el programa de reabastecimiento para los marcos, podemos calcular los requerimientos brutos de tablones para marcos. Planeamos comenzar produciendo marcos en la semana cuatro. Cada marco requiere cuatro tablones, por lo que necesitamos 300 (4) = 1,200 tablones disponibles en la semana cuatro. Así, el requerimiento bruto de tablones para marcos es 1,200 en la semana cuatro. Dado que no hay recepciones programadas, 200 tablones en inventario, un tiempo de entrega de una semana y un FOQ de 1,500 unidades, necesitamos liberar una orden planeada de 1,500 en la semana tres.

Ahora se pueden contestar las preguntas hechas. Debemos planear la liberación de las siguientes órdenes: 300 marcos de asiento en la semana cuatro; 230 cojines en las semanas uno y cuatro y 1,500 tablones para marcos en la semana tres. Si los planes de la PRM se actualizan cada semana, solo las órdenes planeadas para la semana uno deben liberarse ahora. Liberarla crea una recepción programada de 230 cojines que aparecerá en el registro de inventario actualizado. Las otras órdenes permanecen en la etapa de planeación e incluso pueden revisarse en la explosión de la PRM que se realiza la siguiente semana.

Apoyo computacional En la práctica una compañía puede tener miles de artículos con demandas independientes, con un promedio de seis niveles de listas de materiales. Los horizontes de tiempo con frecuencia se extienden a 30 periodos futuros o más. Hacer una explosión de PRM a mano (como se muestra en la figura 16.18) sería impráctico. Lo que se necesita es el procesamiento de datos masivo, justo lo que mejor hacen las computadoras, dejando la toma de decisiones al analista de inventarios. El solver de *Planeación de requerimientos de materiales* de OM Explorer en MyOMLab representa un pequeño ejemplo de lo que hacen los paquetes comerciales en una escala mucho más grande, puede calcular los requerimientos hasta de dos artículos finales. Tiene la habilidad de desarrollar registros de inventario hasta de 18 artículos con poco esfuerzo y puede recalcular estos requerimientos si hay algún cambio en los parámetros de planeación.

MyOMLab

La figura 16.19 muestra la salida del solver de *Planeación de requerimientos de materiales* de OM Explorer. Confirma los resultados de la figura 16.18. Según esta salida, sólo una cosa tendrá que atender quien planea el inventario (analista): la liberación de las órdenes planeadas por 230 unidades de asientos. Su liberación planeada está ahora —madura— para liberarse esta semana. A menos que el analista sepa de un problema, puede colocar una orden con el proveedor. Al mismo tiempo, el analista ingresa una transacción que automáticamente elimina la liberación de orden planeada en el periodo 1, quita la recepción planeada en el periodo 2 e inserta una recepción programada por 230 unidades en el periodo 2. El analista no necesita ver los registros para los marcos de asiento o las bases, porque no necesita realizar una acción para ellos.

Otros reportes importantes Una vez calculados, los registros de inventario para cualquier artículo en la BOM se imprimen o despliegan en la pantalla de la computadora. Quienes planean el inventario utilizan el memo generado por la computadora llamado **notificación de acción** para tomar una decisión acerca de la liberación de nuevas órdenes y el ajuste de las fechas de entrega de las recepciones programadas. Estas notificaciones se generan cada vez que el sistema se actualiza, que suele ser cada semana. La notificación de acción alerta al departamento de planeación solo sobre los artículos que necesitan atención, como aquellos que tienen una liberación de orden planeada en el periodo actual o una recepción programada que necesita revisar su fecha de entrega. Quienes planean pueden ver los registros completos de esos artículos y tomar las acciones necesarias. Una notificación de acción puede ser simplemente una lista de números de partes para artículos que necesitan atención, o bien, el registro completo de esos artículos, con una nota al final identificando qué acciones es necesario implementar.

notificación de acción
Memo generado por la computadora alertando al departamento de planeación sobre la liberación de nuevas órdenes y sobre el ajuste de las fechas de entrega de las recepciones programadas.

Por sí mismo, el sistema PRM no reconoce las limitaciones de capacidad cuando se calculan las órdenes planeadas; es decir, puede indicar la liberación de una orden planeada que exceda la cantidad que se logra producir físicamente. Un papel esencial de los que planean es monitorear los requerimientos de capacidad de los planes de requerimientos de materiales, ajustando un plan cuando no se puede cumplir. Se debe poner especial atención en los cuellos de botella. Es posible aplicar los

FIGURA 16.19 ▶
Salida del Solver de PRM con *OM Explorer* para las componentes del ensamble de asiento

Programa maestro de producción

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Artículo A MPS inicio Descripción: asiento		230			230					
Artículo B MPS inicio Descripción:										

☑ Use second finished item

Planeación de requerimientos de materiales

Artículo C Descrip: marco de asiento Periodo (P) para POQ — Tamaño de lote (FOQ) 300; Tiempo de entrega 1; Inventario de seguridad

FOQ Rule

Cantidad de uso para artículo: A 1 B

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requerimientos brutos			230			230					
Recepciones programadas			300								
Inventario disponible proyectado	40	40	110	110	110	180	180	180	180	180	180
Recepciones planeadas						300					
Liberaciones de órdenes planeadas					300						

Artículo D Descripción: cojín de asiento Periodo (P) para POQ — 1 Tamaño de lote (FOQ); Tiempo de entrega; Inventario de seguridad 1

L4L Rule

Cantidad de uso para artículo: A 1 B C

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requerimientos brutos			230			230					
Recepciones programadas											
Inventario disponible proyectado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Recepciones planeadas			230			230					
Liberaciones de órdenes planeadas		230			230						

Artículo E Descripción: tablones de marco de asiento Periodo (P) para POQ — Tamaño de lote (FOQ) 1500; Tiempo de entrega 1; Inventario de seguridad

FOQ Rule

Cantidad de uso para artículo: A B C 4 D

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requerimientos brutos					1200						
Recepciones programadas											
Inventario disponible proyectado	200	200	200	200	500	500	500	500	500	500	500
Recepciones planeadas					1500						
Liberaciones de órdenes planeadas				1500							

principios de la teoría de restricciones (véase el capítulo 7, "Administración de restricciones") para mantener las operaciones cuello de botella alimentadas ajustando algunas reglas de tamaños de lote o en ocasiones anular las liberaciones de órdenes planeadas. Para facilitar este proceso se ofrecen varios tipos de reportes de capacidad. Por ejemplo, la **planeación de requerimientos de capacidad (CRP,** *capacity requirements planning*) reporta los requerimientos de capacidad proyectados en el tiempo para las estaciones de trabajo. Estos calculan la carga de trabajo de acuerdo con el trabajo requerido para completar las recepciones de órdenes planeadas que todavía no se liberan. Los cuellos de botella son las estaciones de trabajo en las que las cargas proyectadas exceden la capacidad.

planeación de requerimientos de capacidad (CRP)
Técnica que se usa para proyectar los requerimientos de capacidad en el tiempo para las estaciones de trabajo; su propósito es igualar el plan de requerimientos de materiales con la capacidad de los procesos clave.

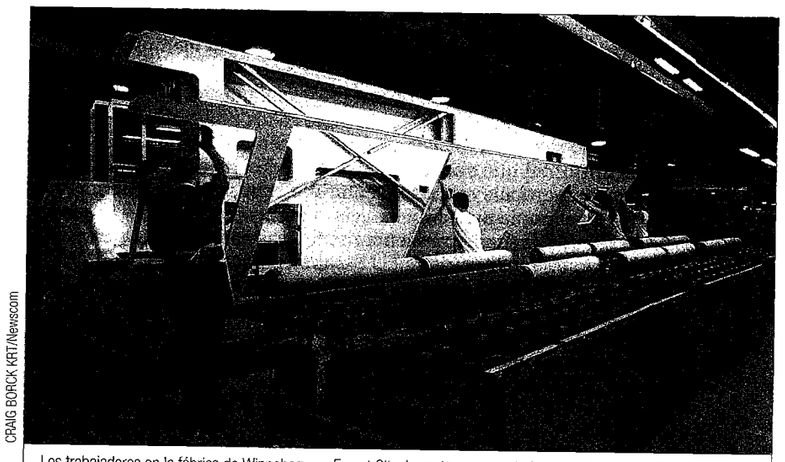
También son posibles otros tipos de salidas, como reportes de prioridades de las órdenes ya colocadas en el taller o con los proveedores. Los reportes de prioridades comienzan con las fechas de entrega asignadas a las recepciones programadas, que quienes planean mantienen actualizadas para que sigan reflejando cuándo se necesitan las recepciones en realidad. En una escala más amplia, la información en un sistema PRM es útil para las otras áreas funcionales, no solo para la de operaciones. La PRM evolucionó a **planeación de recursos de manufactura (PRM II)**, un sistema que liga al sistema PRM básico con el sistema financiero de la compañía y con otros procesos centrales y de apoyo. Por ejemplo, la administración puede proyectar el valor monetario de los envíos, costos del producto, asignaciones de gastos generales, inventarios, órdenes retrasadas y ganancias usando el plan de PRM con los precios y productos y los costos de las actividades del sistema de contabilidad. Además, la información de los MPS, recepciones programadas y órdenes planeadas pueden convertirse en proyecciones de flujos de efectivo, que se desglosan por familias de productos. Es posible realizar cálculos similares para otras medidas de desempeño de interés para la administración. De hecho, el PRM II con el tiempo evolucionó en la planeación de recursos de la

planeación de recursos de manufactura (PRM II)
Sistema que liga el sistema PRM básico con el sistema financiero de la compañía y con otros procesos centrales y de apoyo.

PRÁCTICA ADMINISTRATIVA 16.1 Planeación de requerimientos de materiales en Winnebago Industries

Winnebago Industries, con sede en Forest City, Iowa, es un fabricante líder de casas móviles y productos y servicios relacionados en Estados Unidos desde 1958. En un desafiante ambiente de negocios, la empresa mejora la calidad de sus productos con costos de producción reducidos haciendo hincapié en el trabajo en equipo y en la participación de los empleados. No es de sorprender que, durante décadas, Winnebago se haya mantenido alejado de los paquetes de software, prefiriendo crear y adaptar sus propias aplicaciones. De esta manera puede lograr un mejor ajuste a las necesidades de la compañía, un objetivo que algunas veces no cumplen los vendedores de ERP descritos al principio de este capítulo. También puede tener una respuesta más rápida para los usuarios de su sistema a costos menores, ya que el código se reúsa conforme se necesite.

Un ejemplo del enfoque desarrollado por Winnebago es su sistema PRM, que corre en una computadora grande IBM zSeries y se usa para planear las necesidades de materiales y programar las órdenes de producción. Cuando la compañía agregó un nuevo modelo a su flota de casas móviles, tomó solo unas cien horas de desarrollo, incluyendo una nueva lista de materiales, hacer los cambios requeridos al sistema PRM para apoyar la producción del nuevo vehículo. Esta agilidad en la adaptación del sistema PRM a las necesidades de manufactura y de los proveedores puede ser especialmente provechosa en un entorno en el que el cambio en la variedad de productos es constante. Tan solo en 2007, Winnebago ofreció 20 modelos diferentes con 86 planos de distribución distintos, cada uno de los cuales se podía equipar con una variedad de opciones que incluían colores, escaleras de madera y manijas. Para los modelos de 2011 se agregaron varios planos nuevos. Cuando se forma parte del negocio de la construcción personalizada de casas móviles con precios de $60,000 a $285,000, combinar la conciencia del costo con el sentido común y la participación de los empleados al desarrollar el propio PRM, la administración de órdenes de venta y de los sistemas de compras puede ser valiosa.



CRAIG BORCK KRT/Newscom

Los trabajadores en la fábrica de Winnebago en Forest City, Iowa, levantan un lado completo de una Winnebago, con las superficies interior y exterior, alambrado, marcos y espuma aislante, todo en su lugar, lo colocan en un carretón para trasladarlo al siguiente paso del proceso de ensamble. Desde 1995, Winnebago ha gastado cerca de $5 millones al año para automatizar algunos de sus procesos de la línea de ensamble y hasta $2 millones en los años anteriores.

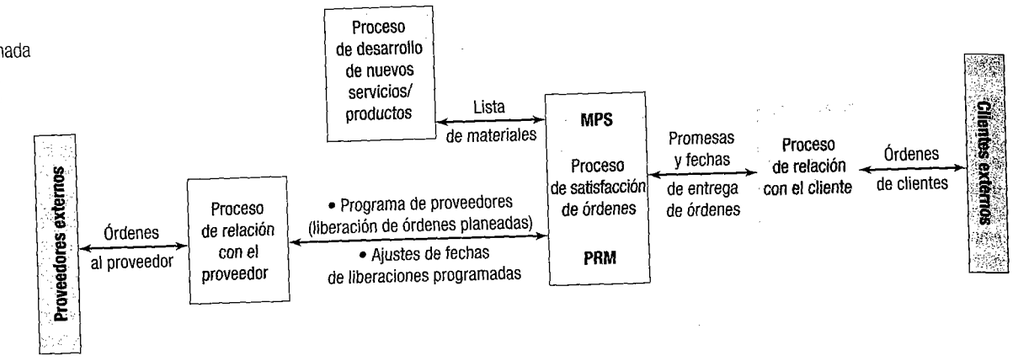
Fuente: "Road Rules: Creating and Adapting Homegrown Software is the Key to Winnebago's Drive for Business Self Sufficiency", 15 de octubre, 2006; **http://www.winnebagoind.com/** (28 de mayo de 2011).

empresa (ERP), que se introdujo al principio de este capítulo. Algunas empresas pueden prescindir del costo vendedor-entrega de los sistemas PRM y ERP por los altos presupuestos y recursos de la compañía involucrados en su implementación y en su lugar crean su propio sistema PRM. La práctica administrativa 16.1 ilustra cómo Winnebago creó y adaptó su propio software, que fue creciendo, para que el sistema PRM lograra la autosuficiencia en el negocio.

Vínculos entre PRM, los procesos centrales y la cadena de suministro

Entre los cuatro procesos centrales de una organización que ligan las actividades al interior y entre empresas en una cadena de suministros, el sistema PRM interactúa con todos ellos, ya sea mediante entradas o salidas de datos. Todo comienza con las órdenes de los clientes, que consisten en órdenes de productos terminados así como refacciones. La PRM y la planeación de recursos suelen estar dentro del proceso de satisfacer la orden. El programa maestro de producción es un parte integral de la PRM (véase la figura 16.2). Como se muestra esquemáticamente en la figura 16.20, la MPS impulsa la retroalimentación entre el proceso de satisfacer una orden y el proceso de relación con el cliente a través de la confirmación de recepción de la orden y las fechas de entrega prometidas. La MPS también proporciona una guía para el grupo de ventas dentro del proceso de relación con el cliente respecto a cuándo se pueden prometer las órdenes futuras y si las fechas de entrega para las órdenes existentes se pueden ajustar en el marco de tiempo solicitado. El proceso de desarrollo de nuevos servicios y

FIGURA 16.20 ▶
La información relacionada con la PRM fluye en la cadena de suministros



productos proporciona una lista de materiales actualizada al sistema PRM y asegura que cada componente y ensamble necesario para la manufactura de artículos finales sea reconocido apropiadamente.

Con una idea similar en el lado interno, las órdenes para los proveedores externos se basan en las liberaciones de órdenes planeadas, que vienen directamente de los informes de salida de la PRM. Sin embargo, el poder de la PRM se vuelve evidente cuando se necesitan cambios a un programa existente. Estos cambios pueden generarse, por ejemplo, por cambios en el MPS porque un cliente quiere cambiar el tiempo o tamaño de las órdenes futuras, por alguna falla interna como faltantes de material o descomposturas inesperadas de las máquinas, o por fallas del proveedor. En una cadena de suministros, los cambios a los programas tienen implicaciones tanto para los clientes como para los proveedores. Algunas empresas, en sociedad con sus proveedores, tienen sistemas ERP/PRM que pueden en efecto "ver" el inventario de sus proveedores para determinar si determinado artículo está en inventario, y si no, cuándo esperan que haya. Esta es una ventaja cuando se contempla un cambio en el programa original de liberación de órdenes. Mientras que sistemas como este son herramientas poderosas para hacer cambios, debe tenerse cuidado de evitar fluctuaciones innecesarias en el tiempo y tamaño de las POQ, debido a la política de elección de tamaño de lote. Como hemos visto, las reglas de tamaño de lote como POQ o L×L son sensibles a los cambios en los requerimientos, y usarlas de manera indiscriminada ocasionaría inestabilidad en las órdenes de reabastecimiento. A su vez, esta inestabilidad puede transmitirse hacia arriba en la cadena de suministros si el sistema PRM de la empresa tiene ligas electrónicas a los sistemas de planeación y control de sus proveedores inmediatos.

Como se muestra en la figura 16.20, la ejecución de los planes basados en PRM con los flujos de información entre los procesos centrales vincula adecuadamente a la empresa con sus socios de la cadena de suministro arriba y abajo. Las prioridades válidas de clientes y proveedores no se reconocerán de manera efectiva sin un marco de trabajo como el basado en PRM, que en muchas empresas se implementa a través de un sistema ERP que se presentó anteriormente en este capítulo.

PRM y el medio ambiente

A los consumidores y el gobierno les preocupa el deterioro del ambiente natural que ha llevado a los fabricantes a la reingeniería de sus procesos para volverse más amigables con el ambiente. El reciclaje de materiales básicos es ahora una práctica común y los productos se están diseñando de manera que se puedan reprocesar después de su vida útil. De todas maneras, los procesos de fabricación con frecuencia producen cierto número de materiales de desecho de los que se debe disponer de modo apropiado. Los desechos llegan en muchas formas:

- Efluentes, como monóxido de carbono, dióxido de azufre y químicos peligrosos asociados con los procesos utilizados para fabricar el producto.
- Materiales, como virutas (rebabas) de metal, aceites y químicos asociados con operaciones específicas.
- Materiales de empaque, como un cartón que no se puede usar y plásticos asociados con ciertos productos o artículos comprados.
- Desperdicio asociado con productos o componentes defectuosos que no se pueden reutilizar, generados por el proceso de fabricación.

Las compañías pueden modificar sus sistemas PRM para ayudarlos a rastrear estos desechos y planear su eliminación. El tipo y la cantidad de desechos asociados con cada artículo pueden ingresarse en sus BOM para tratar los desechos como se haría con un componente del artículo. Cuando se desarrolla el MPS para un producto, se generan reportes que proyecten la cantidad esperada de desechos durante el proceso de producción y cuándo ocurrirá. Aunque este enfoque puede requerir que la lista de materiales de una empresa se modifique sustancialmente, los beneficios también son sustanciales. Las empresas pueden identificar sus problemas de desechos antes de eliminarlos en algunos casos (mediante esfuerzos de mejoras al proceso) o planear su propia eliminación en otros. También da a la empresa una manera de generar cualquier documento formal requerido por el gobierno para verificar que se cumple con las leyes y políticas ambientales.

Planeación de recursos para proveedores de servicios

Hemos visto que las compañías manufactureras pueden desagregar un MPS de productos terminados, lo cual a su vez debe traducirse en las necesidades de recursos, como personal, equipo, componentes y activos financieros. El impulso para estos requerimientos de recursos es un plan de requerimientos de materiales. Los proveedores de servicios, por supuesto, deben planear sus recursos justo como lo hacen los fabricantes. Sin embargo, a diferencia de los productos terminados, los servicios no se pueden inventariar. Deben proporcionarse sobre demanda. En términos de planeación de recursos, las organizaciones de servicios deben enfocarse en mantener la *capacidad* para atender a sus clientes. En esta sección se estudiará cómo los proveedores de servicios utilizan el concepto de demanda dependiente y una lista de recursos al administrar la capacidad.

Demanda dependiente para los servicios

Cuando analizamos los sistemas de planeación y control para los fabricantes en este capítulo, introdujimos el concepto de *demanda dependiente*, la cual es la demanda de un artículo que es una función de los planes de producción para otros artículos que produce la compañía. En el caso de la planeación de recursos de servicios, es útil definir el concepto de demanda dependiente para incluir las demandas de recursos que son impulsadas por los pronósticos de las peticiones de servicio de los clientes o por los planes de varias actividades en apoyo de los servicios que proporciona la compañía. Se presentan otros ejemplos de demandas dependientes para los proveedores de servicios.

Restaurantes Cada vez que usted ordena algo del menú en un restaurante, inicia la necesidad de ciertos tipos de bienes (alimentos crudos, platos y servilletas), personal (chef, meseros y lavaplatos) y equipo (estufas, hornos y utensilios de cocina). Utilizando un pronóstico de demanda para cada tipo de comida, el gerente del restaurante puede estimar la necesidad de estos recursos. Muchos restaurantes, por ejemplo, tienen menús "especiales" ciertos días; digamos, pescado los viernes o un corte de carne los sábados. Los especiales mejoran la exactitud de los pronósticos que necesitan los administradores para los diferentes tipos de platillos (y los productos que se requieren para hacerlos) y suelen indicar la necesidad de niveles de personal arriba del promedio. Cuánto de estos recursos se necesitarán, depende del número de comidas que el restaurante espera servir. Como tales, estos artículos —productos y personal— son demandas dependientes.

Aerolíneas Siempre que una aerolínea programa un vuelo, se necesitan ciertos bienes de apoyo (bebidas, botanas y combustible), mano de obra (pilotos, sobrecargos y servicios de aeropuerto) y equipo (un avión y una sala de aeropuerto). El número de vuelos y pasajeros que la aerolínea pronostica que atenderá determina la cantidad que necesita de estos recursos. Al igual que un fabricante, la aerolínea puede explotar su programa maestro de vuelos para tomar esta determinación.

Hospitales Con excepción de la sala de urgencias, los hospitales pueden usar sus citas para crear un programa maestro. El programa maestro se explota para determinar los recursos que necesitará el hospital durante cierto periodo. Por ejemplo, cuando se programa un procedimiento quirúrgico, se genera una necesidad de facilitar bienes como medicamentos, batas quirúrgicas, sábanas, personal (cirujano, enfermeras y anestesiólogo) y equipo (quirófano, herramientas quirúrgicas y cama de recuperación). Conforme desarrollan sus programas maestros, los hospitales deben asegurarse de que ciertos equipos y personal no estén sobrecomprometidos: en otras palabras, que mantienen su capacidad. Por ejemplo, una cita para una operación clave tal vez tenga que programarse con anticipación a una hora en que el cirujano esté disponible para hacerla, aunque los otros recursos del hospital —quirófano, enfermeras, etc.— puedan no estar disponibles en ese momento.

Médicos y enfermeras en un quirófano durante una cirugía.
Jochen Tack/Photo Library

Hoteles Un viajero que hace una reservación en un hotel genera una demanda para facilitar bienes (jabón y toallas), personal (recepción, limpieza y conserje) y equipo (fax, televisión y bicicleta de ejercicio). Para determinar sus necesidades de recursos dependientes, un hotel suma al número de reservaciones ya registradas el número de "entradas" de clientes que pronostica tener. Esta cifra se usa para crear el programa maestro del hotel. Un recurso que un hotel no ajusta con facilidad, sin embargo, es el número de cuartos que tiene. Si, por ejemplo, el hotel sobrerregistra, no puede simplemente agregar más cuartos. Y si, por el contrario, tiene muy pocos huéspedes, no puede "disminuir" el número

de cuartos. Debido a los altos costos de capital necesario para este recurso, el hotel trata de mantener la tasa de utilización más alta posible ofreciendo precios para grupos o promociones especiales en ciertas temporadas del año. Dicho de otra manera, tratan de impulsar la demanda dependiente para este recurso específico.

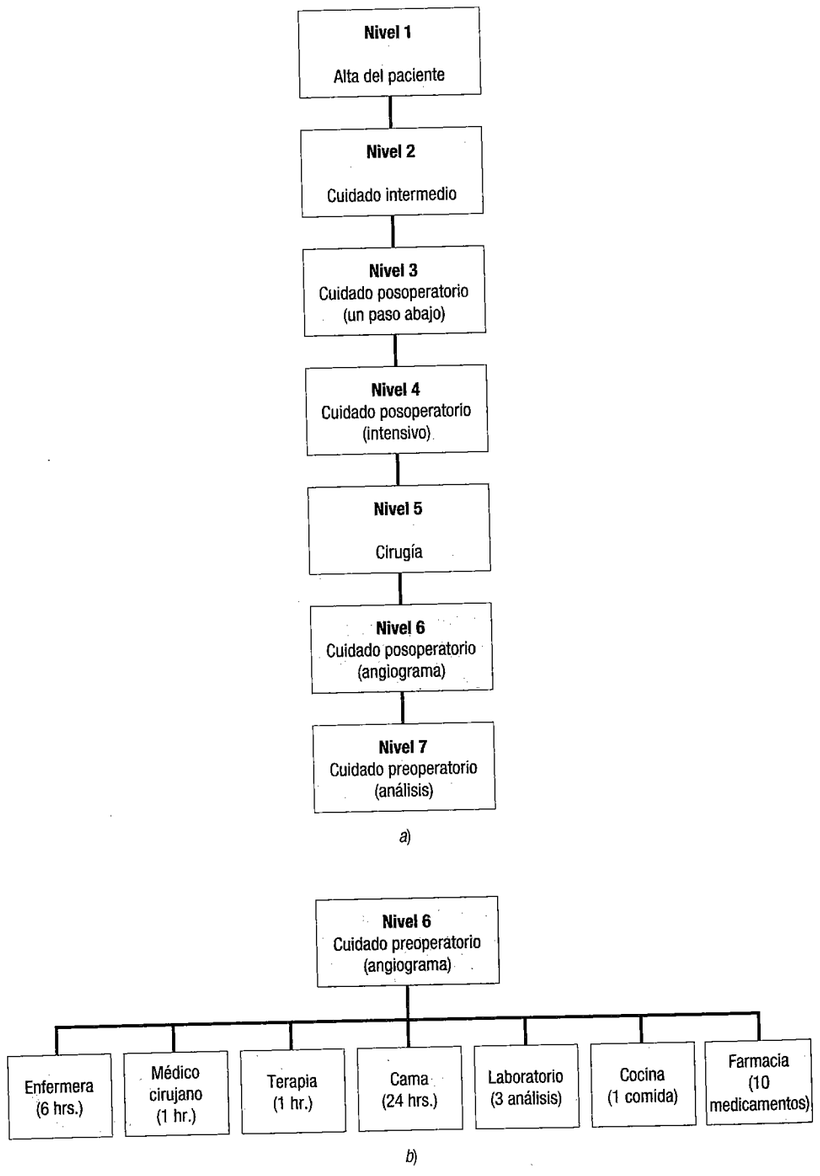
lista de recursos (BOR)
Registro de las relaciones primario-componente de una empresa de servicio y todos los materiales, tiempo de equipo, personal y otros recursos asociados con ellos, incluyendo las cantidades de uso.

Lista de recursos

La analogía del servicio para la lista de materiales en una compañía de manufactura es la **lista de recursos (BOR**, *bill of resources*), que es un registro de las relaciones primario-componente de una empresa de servicio y todos los materiales, tiempo de equipo, personal y otros recursos asociados con ellos, incluyendo las cantidades de utilización. Una vez terminado el programa maestro de la empresa, la BOR se usa para determinar qué recursos necesitará, cuánto de esos recursos y cuándo. Una BOR para un proveedor de servicios puede ser tan compleja como una BOM para un fabricante. Considere un hospital que acaba de programar el tratamiento para un paciente con aneurisma. Como se muestra en la figura 16.21*a*), la BOR para el tratamiento de aneurisma tiene siete niveles, comenzando por arriba (artículo final): **1.** dar de alta, **2.** cuidado intermedio, **3.** cuidado posoperatorio (un paso abajo), **4.** cuidado posoperatorio (intensivo), **5.** cirugía, **6.** cuidado preoperatorio (angiograma) y **7.** cuidado preoperatorio (análisis). Cada nivel de BOR tiene un conjunto de requerimientos de materiales y recursos y un tiempo de entrega asociado. Por ejemplo, en el nivel 6, mostrado en la figura 16.21*b*), el paciente necesita seis horas de tiempo de enfermera, una hora de tiempo primario del cirujano, una hora de terapista respiratorio, 24 horas de cama, tres análisis de laboratorio, una comida y 10 medicamentos diferentes de la farmacia. El tiempo de entrega para este nivel es un día. El tiempo de entrega para la estancia completa para el tratamiento del aneurisma es 12.2 días. Un programa maestro de admisión de pacientes y la BOR para cada enfermedad permite al hospital administrar sus recursos críticos. Se pueden generar reportes análogos a los del PRM II que se estudiaron antes para las personas que administran las distintas áreas funcionales del hospital.

Un recurso que necesita todo proveedor de servicios es efectivo. Las organizaciones de servicios tienen que pronosticar el número de clientes que esperan atender para tener suficiente efectivo disponible para comprar los materiales que apoyan los servicios, como mano de obra y otros productos. Comprar estos artículos aumenta las cuentas por pagar de la empresa. Conforme se completan los servicios para los clientes, las cuentas por cobrar de la empresa aumentan. El programa maestro de la empresa y sus cuentas por cobrar y pagar ayudan a la compañía a predecir la cantidad y el tiempo de estos flujos de efectivo.

FIGURA 16.21▶
BOR para tratar un aneurisma



REPASO DE LAS METAS DE APRENDIZAJE

1. **Explicar de qué manera los sistemas ERP de planeación de recursos en la empresa pueden fomentar una mejor planeación de recursos.** Revise la viñeta de apertura sobre Dow Corning y la sección de "Planeación de recursos de la empresa", pp. 544-546. Ponga atención en la figura 16.1 para comprender cómo se unen los diferentes módulos de aplicaciones para crear funcionalidad y valor en los sistemas ERP.
2. **Explicar de qué manera el concepto de demanda dependiente es fundamental para la planeación de recursos.** Véase la sección de "Demanda dependiente", p. 547, que muestra que la demanda independiente continua puede llevar a requerimientos irregulares par la demanda dependiente. Después se necesita un sistema separado, llamado planeación de requerimientos de materiales, para administrar las situaciones de demanda dependiente.
3. **Describir un programa maestro de producción (MPS) y calcular las cantidades disponibles para promesa.** La sección "Programa maestro de producción", pp. 549-553, muestra cómo una empresa desglosa el plan de producción en programas más detallados. Comprenda las relaciones clave entre las figuras 16.5, 16.6 y 16.8.
4. **Aplicar la lógica del sistema de planeación de requerimientos de materiales (PRM) para identificar las órdenes de producción y compras necesarias para los artículos de demanda independiente.** Observe la figura 16.12, p. 555, para comprender la forma en que se crea un registro de inventario para una regla de tamaño de lote dada. La sección de "Factores de planeación", pp. 556-559, muestra cómo afecta la elección de diferentes políticas administrativas a los planes de materiales. Por último, comprenda el proceso de explosión de la PRM como se ilustra en la figura 16.18, p. 560 y el problema resuelto 3 en la página 570.
5. **Aplicar los principios de PRM a la provisión de servicios y distribución de inventarios.** La sección de "Planeación de recursos para proveedores de servicios", pp. 565-567, ilustra cómo se puede usar la lista de recursos para planear la demanda dependiente para servicios en situaciones como restaurantes, aerolíneas, hospitales y hoteles.

MyOMLab le ayuda a desarrollar habilidades analíticas y a evaluar su avance con múltiples problemas de lista de materiales, primarios, artículos intermedios, componentes, artículos comprados, tiempos de entrega, programa maestro de producción, registro PRM, FOQ, L×L, POQ, recepciones programadas y planes de requerimientos de materiales de múltiples niveles.

Recursos de MyOMLab	Títulos	Vínculos con el libro
Video	*Nantucket Nectars: ERP*	Planeación de recursos de la empresa
Ejercicio de modelo activo	16.1 Plan de requerimientos de materiales	Lista de recursos
Solvers de OM Explorer	Programa maestro de producción Planeación de requerimientos de materiales PRM de un solo artículo	Programa maestro de producción; Problema resuelto 2 (p. 569) Planeación de requerimientos de materiales; Problema resuelto 3 (p. 570) Planeación de requerimientos de materiales; Problema resuelto 3 (p. 570)
Tutores de OM Explorer	16.1 Programa maestro de producción 16.2 Reglas FOQ, POQ y L×L	Programa maestro de producción; Problema resuelto 2 (p. 569) Planeación de factores; Problema resuelto 3 (p. 570)
Ejercicios de tutor	16.1 Aplicación de diferentes reglas de tamaño de lote de PRM	Planeación de factores; Problema resuelto 3 (p. 570)
Tours virtuales	Vaughn Hockey Equipment Winslow Life Rats	Lista de materiales Planeación de recursos de la empresa

Recursos de MyOMLab	Títulos	Vínculos con el libro
Suplementos de MyOMLab	H. Medición de tasas de salida I. Análisis de curva de aprendizaje	Suplemento H de MyOMLab Suplemento I de MyOMLab
Ejercicios en Internet	Schwinn Hewlett-Packard	Planeación de requerimientos de materiales Planeación de requerimientos de materiales
Ecuaciones clave		
Biblioteca de imágenes		

Términos clave

artículo comprado 549
artículo final 548
artículo intermedio 548
cantidad de uso 548
cantidad fija a ordenar (FOQ) 556
cantidad periódica a ordenar (POQ) 556
componente 547
demanda dependiente 547
explosión de la PRM 546
inventario disponible para promesa (DPP) 552
inventario disponible proyectado 554
liberación de orden planeada 555
lista de materiales (BOM) 547
lista de recursos (BOR) 566
modularidad de una parte 549
notificación de acción 561
planeación de recursos 544
planeación de recursos de manufactura (PRM II) 562
planeación de requerimientos de capacidad (CRP) 562
planeación de requerimientos de materiales (PRM) 546
primario 547
proceso de la empresa 544
programa maestro de producción (MPS) 549
recepciones planeadas 554
registro de inventario 553
regla de lote por lote (L×L) 557
requerimientos brutos 553
sistemas de planeación de recursos de la empresa (ERP) 544
subensamble 548

Problema resuelto 1

Véase la lista de materiales para el producto A mostrada en la figura 16.22.

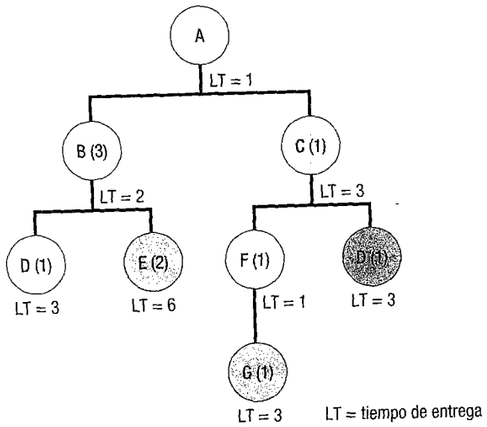


FIGURA 16.22 ▶
BOM para el producto A

Si no hay inventario existente y ninguna recepción programada, ¿cuántas unidades de los artículos G, E y D deben comprarse para producir cinco unidades del artículo final A?

SOLUCIÓN
Deben comprarse cinco unidades del artículo G, 30 unidades del artículo E y 20 unidades del artículo D para hacer cinco unidades del artículo A. Las cantidades de uso mostradas en la figura 16.22 indican que se necesitan dos unidades de E para hacer una unidad de B y tres unidades de B para hacer una unidad de A; por lo tanto, cinco unidades de A requieren 30 unidades de E ($2 \times 3 \times 5 = 30$). Se consume una unidad de D para hacer una unidad de B, y tres unidades de B por unidad de A dan como resultado 15 unidades de D ($1 \times 3 \times 5 = 15$); con una unidad de D en cada unidad de C y una unidad de C por unidad de A da cinco unidades de D ($1 \times 1 \times 5 = 5$). Los requerimientos totales para hacer cinco unidades de A son 20 unidades de D ($15 + 5$). El cálculo de los requerimientos para G es sencillamente $1 \times 1 \times 1 \times 5 = 5$ unidades.

Problema resuelto 2

La política de ordenar es producir el artículo final A en lotes de 50 unidades. Utilice los datos mostrados en la figura 16.23 y la regla de tamaño de lote FOQ para completar el inventario disponible proyectado y el renglón de cantidades MPS. Después complete el renglón inicial del MPS compensando las cantidades MPS para el tiempo de entrega de ensamble final. Calcule el inventario disponible para promesa del artículo A. Por último, evalúe las siguientes peticiones de clientes para nuevas órdenes. Suponga que estas órdenes llegan de forma consecutiva y su efecto en el DPP es acumulativo. ¿Cuáles de estas órdenes pueden satisfacerse sin alterar las cantidades iniciales del MPS?

a) El cliente A requiere 30 unidades en la semana uno.
b) El cliente B requiere 30 unidades en la semana cuatro.
c) El cliente C requiere 10 unidades en la semana tres.
d) El cliente D requiere 50 unidades en la semana cinco.

Artículo: A — **Política de ordenar:** 50 unidades; **Tiempo de entrega:** 1 semana

Cantidad disponible: 5	Semana 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pronóstico	20	10	40	10	0	0	30	20	40	20
Órdenes de clientes (registradas)	30	20	5	8	0	2	0	0	0	0
Inventario disponible proyectado	25									
Cantidad MPS	50									
MPS inicial										
Inventario disponible para promesa (DPP)										

▲ **FIGURA 16.23**
Registro MPS para el artículo final A

SOLUCIÓN
El inventario disponible proyectado para la segunda semana es:

$$\begin{pmatrix}\text{Inventario disponible}\\ \text{proyectado al final}\\ \text{de la semana 2}\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\text{Inventario}\\ \text{disponible}\\ \text{en la semana 1}\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}\text{Cantidad MPS}\\ \text{que se entrega en}\\ \text{la semana 2}\end{pmatrix} - \begin{pmatrix}\text{Requerimientos}\\ \text{en la semana 2}\end{pmatrix}$$

$$= 25 + 0 - 20 = 5 \text{ unidades}$$

donde los requerimientos son mayores que el pronóstico o las órdenes reales de los clientes registradas para envío durante este periodo. No se requiere una cantidad MPS.

Sin una cantidad MPS en el tercer periodo ocurrirá un faltante del artículo A: $5 + 0 - 40 = -35$. Por lo tanto, una cantidad MPS igual al tamaño de lote de 50 debe programarse para terminación en el tercer periodo. Entonces, el inventario disponible proyectado para la tercera semana será $5 + 50 - 40 = 15$.

La figura 16.24 muestra los inventarios disponibles proyectados y las cantidades MPS resultantes de completar los cálculos de MPS. El renglón inicial de MPS se completa con solo mover una copia del renglón de cantidades MPS una columna a la izquierda para tomar en cuenta el tiempo de entrega de una semana del ensamble final. También se muestran las cantidades disponibles para promesa. En la semana uno, el DPP es:

$$\begin{pmatrix}\text{Inventario disponible}\\ \text{para promesa en la}\\ \text{semana 1}\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\text{Cantidad}\\ \text{disponible}\\ \text{en la semana 1}\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}\text{Cantidad MPS}\\ \text{en la semana 1}\end{pmatrix} - \begin{pmatrix}\text{Órdenes registradas hasta}\\ \text{la semana 3, cuando lega}\\ \text{el siguiente MPS}\end{pmatrix}$$

$$= 5 + 50 - (30 + 20) = 5 \text{ unidades}$$

El DPP para la cantidad MPS en la semana tres es:

$$\begin{pmatrix}\text{Inventario disponible}\\ \text{para promesa}\\ \text{en la semana 3}\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\text{Cantidad MPS}\\ \text{en la semana 3}\end{pmatrix} - \begin{pmatrix}\text{Órdenes registradas hasta}\\ \text{la semana 7, cuando llega}\\ \text{el siguiente MPS}\end{pmatrix}$$

$$= 50 - (5 + 8 + 0 + 2) = 35 \text{ unidades}$$

Los otros DPP son iguales a sus respectivas cantidades MPS porque no hay órdenes registradas para esas semanas. En cuanto a las nuevas órdenes, la petición del cliente A de 30 unidades en la semana uno no se puede acomodar; lo más pronto que se enviaría es la semana tres porque el DPP para la semana uno es insuficiente. Suponiendo que se rechazara la orden del cliente A, se puede satisfacer la petición del cliente B. El DPP para la semana uno permanecerá en cinco unidades y el

Tamaño de lote: 50 unidades
Tiempo de entrega: 1 semana

Cantidad disponible: 5	Semana 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Pronóstico	20	10	40	10			30	20	40	20					
Órdenes de clientes (registradas)	30	20	5	8		2									
Inventario disponible proyectado	25	5	15	5	5	3	23	3	13	43					
Cantidad MPS	50		50				50		50	50					
MPS inicial		50				50		50	50						
Inventario disponible para promesa (DPP)	5		35				50		50	50					

FIGURA 16.24 ▲
Registro MPS completo para el artículo final A

DPP para la semana tres se reduce a cinco unidades. Esta aceptación da a la empresa la flexibilidad de satisfacer de inmediato una orden de cinco unidades o menos, si llega una. Cuando el MPS se actualiza, las órdenes de clientes registradas para la semana cuatro aumentarán a 38 para reflejar la fecha de entrega de la nueva orden. La solicitud del cliente C de 10 unidades en la semana tres también se acepta. El DPP para las semanas uno a tres se reducirá a 0 y cuando el MPS se actualiza, las órdenes de clientes registradas para la semana tres aumentarán a 15. Por último, la orden del cliente D de 50 unidades en la semana cinco no se puede satisfacer sin cambiar el MPS.

Problema resuelto 3

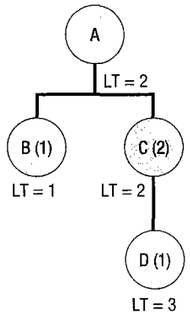


FIGURA 16.25 ▲
BOM para el producto A

MyOMLab
El modelo activo 16.1 en MyOMLab proporciona información adicional de las decisiones de tamaño de lote para este problema.

Las cantidades iniciales de MPS para el producto A piden al departamento de ensamble que comience el ensamble final de acuerdo con el siguiente programa: 100 unidades en la semana 2; 200 unidades en la semana 4; 120 unidades en la semana 6; 180 unidades en la semana siete, y 60 unidades en la semana ocho. Desarrolle un plan de requerimientos de materiales para las siguientes ocho semanas para los artículos B, C y D. La BOM para A se muestra en la figura 16.25 y los datos de los registros de inventario se muestran en la tabla 16.1.

SOLUCIÓN
Comenzamos con los artículos B y C y desarrollamos sus registros de inventario, como se muestra en la figura 16.26. El MPS para el producto A debe multiplicarse por 2 para derivar los requerimientos brutos para el artículo C debido a la cantidad de utilización. Una vez que se encuentran las liberaciones de las órdenes planeadas para el artículo C, se pueden calcular los requerimientos brutos para el artículo D.

TABLA 16.1 | DATOS DEL REGISTRO DE INVENTARIO

	ARTÍCULO		
Categoría de datos	**B**	**C**	**D**
Regla de tamaño de lote	POQ ($P = 3$)	LxL	FOQ = 500 unidades
Tiempo de entrega (LT)	1 semana	2 semanas	3 semanas
Recepciones programadas	Ninguna	200 (semana 1)	Ninguna
Inventario inicial (disponible)	20	0	425

Artículo: B
Descripción:
Tamaño de lote: POQ ($P = 3$)
Tiempo de entrega: 1 semana

	Semana 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requerimientos brutos		100		200		120	180	60		
Recepciones programadas										
Inventario disponible proyectado 20	20	200	200	0	0	240	60	0	0	0
Recepciones planeadas		280				360				
Liberación de órdenes planeadas	280				360					

Artículo: C
Descripción:
Tamaño de lote: LxL
Tiempo de entrega: 2 semanas

	Semana 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requerimientos brutos		200		400		240	360	120		
Recepciones programadas	200									
Inventario disponible proyectado 0	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Recepciones planeadas				400		240	360	120		
Liberación de órdenes planeadas		400		240	360	120				

Artículo: D
Descripción:
Tamaño de lote: FOQ = 500 unidades
Tiempo de entrega: 3 semanas

	Semana 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requerimientos brutos		400		240	360	120				
Recepciones programadas										
Inventario disponible proyectado 425	425	25	25	285	425	305	305	305	305	305
Recepciones planeadas				500	500					
Liberación de órdenes planeadas	500	500								

◀ FIGURA 16.26
Registros de inventario para los artículos B, C y D

Preguntas para análisis

1. Para una organización de su elección, como el lugar donde trabajó, analice cómo puede utilizarse el sistema ERP y también cómo lo haría si se incrementara la efectividad.
2. Forme un grupo en el cual cada miembro representa un área funcional diferente de la empresa. Proporcione una lista de prioridades de la información que se puede generar de un MPS, de lo más importante a lo menos importante, para cada área funcional. Racionalice las diferencias en las listas.
3. Considere el programa maestro de vuelos de una aerolínea, como Air New Zealand. Analice las analogías con un programa maestro de producción para un fabricante.
4. Considere un proveedor de servicios que está en el negocio de entregas, como ups o FedEx. ¿En qué pueden ser útiles los principios de la PRM para una compañía de este tipo?

Problemas

El OM Explorer y POM para Windows están disponibles para todos los estudiantes de la décima edición de este libro. Vaya a **www.pearsonhighered.com/krajewski** para bajar estos paquetes de computadora. Si compró MyOMLab, también tiene acceso al software de modelos activos y mucha ayuda para resolver los problemas siguientes. Verifique con su instructor la mejor manera de usar estos recursos. En muchos casos, el instructor le pedirá que comprenda cómo se hacen los cálculos a mano. Por lo menos, el software proporciona una verificación de sus cálculos. Cuando los cálculos son muy complejos y la meta es interpretar los resultados al tomar una decisión, el software sustituye por completo los cálculos manuales.

1. Considere la lista de materiales (BOM) en la figura 16.27.
   a) ¿Cuántos primarios inmediatos (un nivel arriba) tiene el artículo I? ¿Cuántos primarios inmediatos tiene el artículo E?
   b) ¿Cuántas componentes únicas tiene el artículo A en todos los niveles?
   c) ¿Qué componentes son artículos comprados?
   d) ¿Cuántos artículos intermedios tiene el producto A en todos los niveles?
   e) Dados los tiempos de entrega (LT) en las semanas anotadas en la figura 16.27, ¿cuánto tiempo antes del envío debe hacerse un compromiso de compra para cualquiera de los artículos comprados que se identifican en el inciso c)?

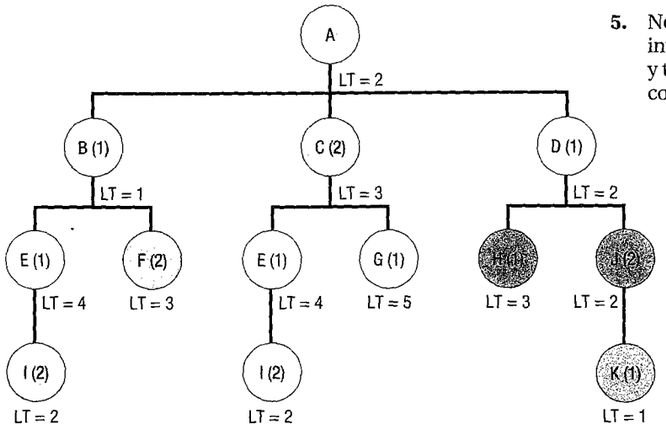


FIGURA 16.27 ▲
BOM para el producto A

2. El producto A se hace con las componentes B, C y D. El artículo B es un subensamble que requiere dos unidades de C y una unidad de E. El artículo D también es intermedio, hecho con una unidad de F. Todas las otras cantidades de uso son dos. Dibuje la BOM para el producto A.
3. ¿Cuál es el tiempo de entrega (en semanas) para responder a una orden de un cliente para el producto A, con base en la BOM mostrada en la figura 16.28, suponiendo que no existe inventario ni recepciones programadas?
4. El producto A se hace con las componentes B y C. El artículo B, a su vez, se hace con D y E. El artículo C también es un artículo intermedio, hecho con F y H. Por último, el artículo intermedio E se hace con H y G. Observe que el artículo H tiene dos primarios. Los siguientes son tiempos de entrega de los artículos:

Artículo	A	B	C	D	E	F	G	H
Tiempos de entrega (semanas)	1	2	2	6	5	6	4	3

   a) ¿Qué tiempo de entrega (en semanas) se necesita para responder a una orden de un cliente para el producto A, suponiendo que no hay inventario ni recepciones programadas?
   b) ¿Cuál es el tiempo de respuesta al cliente si todos los artículos comprados (es decir, D, F, G y H) están en el inventario?
   c) Si se le permite conservar solo un artículo comprado en inventario, ¿cuál elegiría?
5. Nos referimos a la figura 16.22 y el problema resuelto 1. Si el inventario consiste en dos unidades de B, una unidad de F y tres unidades de G, ¿cuántas unidades de G, E y D deben comprarse para producir cinco unidades del producto A?

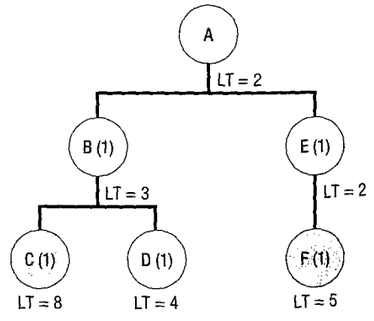


FIGURA 16.28 ▲
BOM para el producto A

6. Complete el registro MPS en la figura 16.29 para un solo artículo.

Artículo: A — **Política de ordenar:** 60 unidades — **Tiempo de entrega:** 1 semana

Cantidad disponible: 35	Semana 1	2	3	4	5	6	7	8
Pronóstico	20	18	28	28	23	30	33	38
Órdenes de clientes (registradas)	15	17	9	14	9	0	7	0
Inventario disponible proyectado								
Cantidad MPS								
MPS inicial								

◀ FIGURA 16.29
Registro MPS para un solo artículo

7. Complete el registro MPS mostrado en la figura 16.30 para un solo artículo.

Artículo: A — **Política de ordenar:** 100 unidades — **Tiempo de entrega:** 1 semana

Cantidad disponible: 75	Enero 1	2	3	4	Febrero 5	6	7	8
Pronóstico	65	65	65	45	50	50	50	50
Órdenes de clientes (registradas)	40	10	85	0	35	70	0	0
Inventario disponible proyectado								
Cantidad MPS								
MPS inicial								

◀ FIGURA 16.30
Registro MPS para un solo artículo

8. Los pronósticos de la demanda de un artículo final para las siguientes 10 semanas son 30, 20, 35, 50, 25, 25, 0, 40, 0 y 50 unidades. El inventario disponible actual es 80 unidades. La política de ordenar es producir lotes de 100 unidades. Las órdenes de clientes registradas para el artículo, comenzando la semana uno, son 22, 30, 15, 9, 0, 0, 5, 3, 7 y 0 unidades. En el presente, no hay cantidades de MPS disponibles para este artículo. El tiempo de entrega es dos semanas. Desarrolle un MPS para este artículo final

9. La figura 16.31 muestra un registro MPS incompleto para cojinetes.

a) Desarrolle el MPS para los cojinetes.

b) Llegaron cuatro órdenes de clientes en esta secuencia:

Orden	Cantidad	Semana deseada
1	500	4
2	400	5
3	300	1
4	300	7

Suponga que debe comprometerse a las órdenes en la secuencia que llegaron y no puede cambiar las fechas de envío deseadas en su MPS. ¿Qué órdenes debe aceptar?

10. Tabard Industries pronosticó la siguiente demanda para uno de sus productos más rentables para las siguientes ocho semanas: 120, 120, 120, 100, 100, 100, 80 y 80 unidades. Las órdenes registradas para este producto, comenzando en la semana uno, son: 100, 80, 60, 40, 10, 10, 0 y 0 unidades. El inventario disponible actual es 150 unidades, la cantidad a ordenar es 200 unidades y el tiempo de entrega es una semana.

a) Desarrolle un MPS para este producto.

b) El departamento de marketing revisó sus pronósticos. Comenzando en la semana uno, los nuevos pronósticos son: 120, 120, 120, 150, 150, 150, 100 y 100 unidades. Suponiendo que el MPS prospectivo que desarrolló en el inciso *a*) no cambia, prepare un registro MPS revisado. Comente en la situación que Tabard enfrenta ahora.

c) Regrese a la demanda pronosticada original y el registro MPS que desarrolló en el inciso *a*); suponga que el departamento de marketing aceptó una nueva orden de 200 unidades en la semana dos y con ello las órdenes registradas en la semana dos ahora son 280 unidades. Suponiendo que el MPS prospectivo que desarrolló en el inciso *a*) no cambia, prepare un registro MPS revisado. Comente la situación que Tabard enfrenta ahora.

11. La figura 16.32 muestra un registro MPS incompleto para válvulas de control de dos pulgadas de neumático. Suponga que recibe las siguientes órdenes para las válvulas (mostradas en el orden de llegada). Cuando llegan, usted debe decidir si aceptarlas o rechazarlas. ¿Qué órdenes aceptaría para envío?

Orden	Cantidad (unidades)	Semana solicitada
1	15	2
2	30	5
3	25	3
4	75	7

12. Los requerimientos solicitados para un taladro de mano eléctrico para las siguientes seis semanas son 15, 40, 10, 20, 50 y 30 unidades. El departamento de marketing ha registrado órdenes por un total de 20, 25, 10 y 20 unidades para entrega en la primera (actual), segunda, tercera y cuarta semanas. Ahora hay 30 taladros en almacén. La política es ordenar lotes de 60 unidades. El tiempo de entrega es una semana.

a) Desarrolle el registro MPS para los taladros.

b) Un distribuidor de taladros coloca una orden de 15 unidades. ¿Cuál es la fecha de envío adecuada para la orden completa?

13. Se aprobó un pronóstico de 240 unidades en enero, 320 unidades en febrero y 240 unidades en marzo para una familia de productos de sensor sísmico fabricado en el local de Rockport de Maryland Automated, Inc. Tres productos A, B y C, comprenden esta familia. La razón de la mezcla para los productos A, B y C los últimos dos años ha sido 35%, 40% y 25%, respectivamente. La administración piensa que los requerimientos mensuales pronosticados se dividen por igual en las cuatro semanas de cada mes. Ahora hay 10 unidades del producto C disponibles. La compañía produce el producto C en lotes de 40 y el tiempo de entrega es dos semanas. Una cantidad de producción de 40 unidades del periodo anterior está programada para llegar en la semana uno. La compañía ha aceptado órdenes de 25, 12, 8, 10, 2 y 3 unidades del producto C en las semanas uno a seis, respectivamente. Prepare un MPS prospectivo para el producto C y calcule las cantidades de inventario disponibles para promesa.

14. El registro de inventario incompleto para el subensamble de una superficie de mesa en la figura 16.33 muestra los requerimientos brutos, las recepciones programadas, el tiempo de entrega y el inventario disponible actual.

a) Complete los últimos tres renglones del registro para una FOQ de 110 unidades.

b) Complete los últimos tres renglones del registro usando la regla L×L de tamaño de lote.

c) Compete los tres últimos renglones del registro usando la regla POQ de tamaño de lote, con $P = 2$.

FIGURA 16.31 ▶
Registro MPS para cojinetes

Artículo: cojinetes — **Política de ordenar:** 500 unidades — ***Tiempo de entrega:*** 1 semana

Cantidad disponible: 400	Semana 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pronóstico	550	300	400	450	300	350	200	300	450	400
Órdenes de clientes (registradas)	300	350	250	250	200	150	100	100	100	100
Inventario disponible proyectado										
Cantidad MPS	500									
MPS inicial										
Inventario disponible para promesa (DPP)										

◀ FIGURA 16.32
Registro MPS para la válvula de neumático de 2 pulgadas

Artículo: válvula de control de neumático de 2 pulgadas — **Política de ordenar:** 75 unidades — **Tiempo de entrega:** 1 semana

Cantidad disponible: 10	Semana 1	2	3	4	5	6	7	8
Pronóstico	40	40	40	40	30	30	50	50
Órdenes de clientes (registradas)	60	45	30	35	10	5	5	0
Inventario disponible proyectado								
Cantidad MPS	75	75						
MPS inicial	75							
Inventario disponible para promesa (DPP)								

◀ FIGURA 16.33
Registro de inventario para el subensamble de la superficie de mesa

Artículo: M405–X — **Descripción:** subensamble de superficie de mesa — **Tamaño de lote:** — **Tiempo de entrega:** 2 semanas

Inventario disponible proyectado: 40	Semana 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requerimientos brutos	90		85		80		45	90		
Recepciones programadas	110									
Inventario disponible proyectado										
Recepciones planeadas										
Liberaciones de órdenes planeadas										

15. El registro de inventario incompleto para un subensamble de rotor en la figura 16.34 muestra los requerimientos brutos, las recepciones programadas, el tiempo de entrega y el inventario disponible actual.

a) Complete los últimos tres renglones del registro con una FOQ de 150 unidades.

b) Complete los últimos tres renglones del registro usando la regla L×L de tamaño de lote.

c) Complete los últimos tres renglones del registro usando la regla POQ de tamaño de lote con $P = 2$.

FIGURA 16.34 ▶
Registro de inventario para el subensamble de rotor

Artículo: subensamble de rotor — **Tamaño de lote:** — **Tiempo de entrega:** 2 semanas

	Semana							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos brutos	65	15	45	40	80	80	80	80
Recepciones programadas	150							
Inventario disponible proyectado 20								
Recepciones planeadas								
Liberaciones de órdenes planeadas								

16. El registro de inventario incompleto para el subensamble del eje de transmisión de la figura 16.35 muestra los requerimientos brutos, las recepciones programadas, el tiempo de entrega y el inventario disponible actual.

a) Complete los últimos tres renglones de una FOQ de 50 unidades.

b) Complete los últimos tres renglones del registro usando la regla L×L de tamaño de lote.

c) Complete los últimos tres renglones del registro usando la regla POQ de tamaño de lote con $P = 4$.

FIGURA 16.35 ▶
Registro de inventario para eje de transmisión

Artículo: subensamble de eje de transmisión — **Tamaño de lote:** — **Tiempo de entrega:** 3 semanas

	Semana							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos brutos	35	25	15	20	40	40	50	50
Recepciones programadas	80							
Inventario disponible proyectado 10								
Recepciones planeadas								
Liberaciones de órdenes planeadas								

17. La figura 16.36 muestra un registro de inventario incompleto para el subensamble de rueda trasera. Proporciona los requerimientos brutos, las recepciones programadas, el tiempo de entrega y el inventario disponible actual.

a) Complete los tres últimos renglones del registro para una FOQ de 200 unidades.

b) Complete los tres últimos renglones del registro usando una FOQ de 100 unidades.

c) Complete los últimos tres renglones del registro usando la regla L×L.

Artículo: MQ-09 — **Tamaño de lote:**
Descripción: subensamble de rueda trasera — **Tiempo de entrega:** 1 semana

	Semana									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requerimientos brutos	25	105	110	90		45	110	60		
Recepciones programadas										
Inventario disponible proyectado 50										
Recepciones planeadas										
Liberaciones de órdenes planeadas										

◀ FIGURA 16.36
Registro de inventario para el subensamble de rueda trasera

18. En la figura 16.37 se muestra un registro incompleto de inventario para un subensamble de motor.

a) Complete los últimos tres renglones del registro utilizando la regla L×L.

b) Complete los últimos tres renglones del registro utilizando la regla POQ con $P = 2$.

c) Complete los últimos tres reglones del registro utilizando la regla POQ con $P = 4$.

d) Si a la compañía le cuesta \$1 mantener una unidad de inventario de una semana a la siguiente y el costo de liberar una orden es \$50, ¿qué tamaño de lote utilizado en los incisos anteriores proporcionará el menor costo de mantener inventario + el costo de liberar órdenes?

Artículo: GF-4 — **Tamaño de lote:**
Descripción: subensamble de motor — **Tiempo de entrega:** 2 semanas

	Semana									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requerimientos brutos		80	50	35	20	55	15	30	25	10
Recepciones programadas	60									
Inventario disponible proyectado 20										
Recepciones planeadas										
Liberaciones de órdenes planeadas										

▲ FIGURA 16.37
Registro de inventario para el subensamble de motor

Problemas avanzados

Dependiendo del tiempo disponible para cubrir este capítulo, su instructor puede no asignar estos problemas. Quizá, en su trabajo con los problemas de multinivel le permitan usar el Solver de *Planeación de requerimientos de materiales* en el OM Explorer, con el requisito principal de buscar situaciones que necesitan la atención de quien planea el inventario (por ejemplo, una notificación de acción).

19. La BOM del producto A se muestra en la figura 16.38 y los datos del registro de inventarios se muestran en la tabla 16.2. En el programa maestro de producción para el producto A, el renglón inicial del MPS tiene 100 unidades en la semana 3 y 200 en la semana seis. Desarrolle el plan de requerimientos de materiales para las siguientes seis semanas para los artículos B, C y D.

a) Desarrolle el plan de requerimientos de materiales para las siguientes seis semanas para los artículos B, C y D.

b) ¿Qué acciones administrativas específicas se requieren en la semana uno?

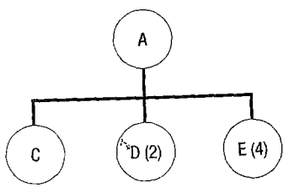


FIGURA 16.38 ▲
BOM para el producto A

TABLA 16.2 | DATOS DEL REGISTRO DE INVENTARIOS

	ARTÍCULO		
Categoría de datos	**C**	**D**	**E**
Regla de tamaño de lote	L×L	FOQ = 200	POQ (P = 3 semanas)
Tiempo de entrega	2 semanas	1 semana	1 semana
Recepciones programadas	Ninguna	200 (en la semana 3)	200 (en la semana 3)
Inventario inicial	50	200	0

20. Las BOM para los productos A y B y los datos de los registros de inventarios se muestran en la figura 16.39. Los datos de los registros de inventarios se dan en la tabla 16.3. En el programa maestro de producción para el producto A, el renglón inicial del MPS tiene 85 unidades en la semana dos; 200 en la semana cuatro, y 50 en la semana ocho. En el programa maestro de producción para el producto B, el renglón inicial del MPS tiene 65 unidades en la semana tres; 50 en la semana cuatro; 50 en la semana cinco, y 75 en la semana ocho.

a) Desarrolle el plan de requerimientos de materiales para las siguientes ocho semanas para los artículos C, D y E. Observe cualquier dificultad que pudiera haber en los registros de inventarios.

b) ¿Pueden rectificarse las dificultades observadas en el inciso *a*) mediante la aceleración de alguna recepción programada?

FIGURA 16.39 ▶
BOM para los productos A y B

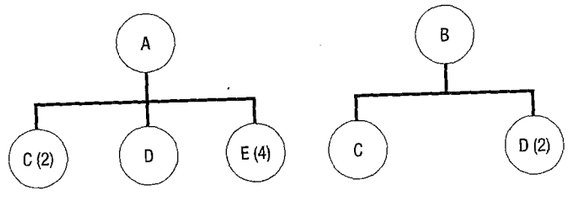
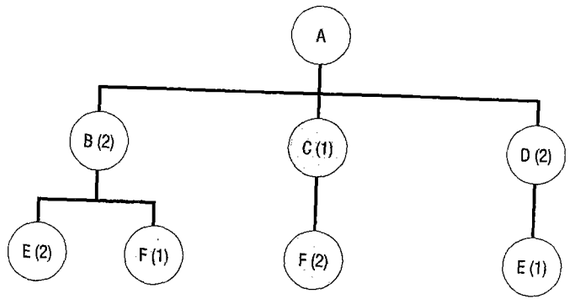


TABLA 16.3 | DATOS DEL REGISTRO DE INVENTARIOS

	ARTÍCULO		
Categoría de datos	**C**	**D**	**E**
Regla de tamaño de lote	L×L	FOQ = 200	POQ (P = 2 semanas)
Tiempo de entrega	2 semanas	1 semana	1 semana
Recepciones programadas	200 (en la semana 3)	0	0
Inventario inicial	0	0	200

21. La figura 16.40 ilustra la BOM para el producto A. El renglón inicial del MPS en el programa maestro de producción para el producto A tiene 50 unidades en la semana dos, 65 unidades en la semana cinco y 80 unidades en la semana ocho. El artículo C se produce para hacer A y para cumplir la demanda pronosticada de refacciones. La demanda de refacciones ha sido 20 unidades por semana (se agregan 20 unidades a los requerimientos brutos de C). Los tiempos de entrega para los artículos F y C son una semana y para los otros artículos ese tiempo de entrega es dos semanas. No hay inventario de seguridad para los artículos B, C, D, E y F. La regla de tamaño de lote L×L se usa para los artículos B y F, la regla POQ (P = 3) se usa para C. El artículo E tiene una FOQ de 600 unidades y D tiene FOQ de 250. Los inventarios disponibles son 50 unidades de B, 50 unidades de C, 120 unidades de D, 70 unidades de E y 250 unidades de F. El artículo B tiene una recepción programada de 50 unidades en la semana dos. Desarrolle un plan de requerimientos de materiales para las siguientes ocho semanas para los artículos B, C, D, E y F.

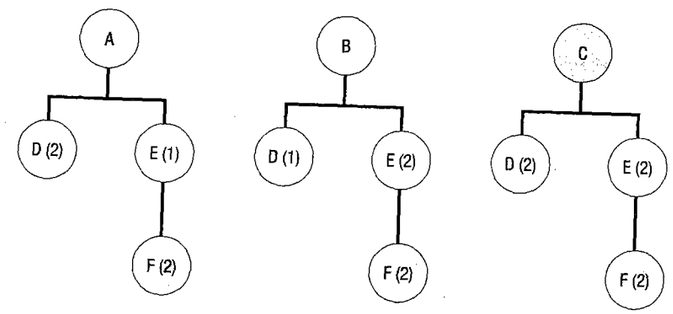


▲ FIGURA 16.40
BOM para el producto A

22. La siguiente información está disponible para los tres artículos del MPS:

Producto A	Una orden de 80 unidades debe iniciar en la semana tres. Una orden de 55 unidades debe iniciar en la semana seis.
Producto B	Una orden de 125 unidades debe iniciar en la semana cinco.
Producto C	Una orden de 60 unidades debe iniciar en la semana cuatro.

Desarrolle el plan de requerimientos de materiales para las siguientes seis semanas para los artículos D, E y F. La BOM se muestra en la figura 16.41 y los datos de los registros de inventario se muestran en la tabla 16.4. (*Advertencia*: un requerimiento de inventario de seguridad se aplica al artículo F. Asegúrese de planear una recepción para cualquier semana, en la cual el inventario disponible proyectado sea menor que el inventario de seguridad).



◀ FIGURA 16.41
BOM para los artículos A, B y C

TABLA 16.4 | DATOS DEL REGISTRO DE INVENTARIOS

	ARTÍCULO		
Categoría de datos	**D**	**E**	**F**
Regla del tamaño de lote	FOQ = 150	L×L	POQ (P = 2)
Tiempo de entrega	3 semanas	1 semana	2 semanas
Inventario de seguridad	0	0	30
Recepciones programadas	150 (en la semana 3)	120 (en la semana 2)	Ninguna
Inventario inicial	150	0	100

23. La figura 16.42 muestra la BOM para dos productos, A y B. La tabla 16.5 muestra la cantidad del MPS para cada uno. La tabla 16.6 contiene datos de los registros de inventario para los artículos C, D y E. No hay requerimientos de inventarios de seguridad para estos artículos.

a) Determine el plan de requerimientos de materiales para los artículos C, D y E para las siguientes 8 semanas.

b) ¿Qué acciones administrativas específicas se requieren en la semana uno?

c) Suponga que un cliente muy importante coloca una orden urgente por una cantidad del producto A. Con el fin de satisfacer esta orden, ahora se requiere un nuevo MPS de 200 unidades del producto A en la semana cinco. Determine los cambios al plan de requerimientos de materiales si esta orden se acepta y anote los problemas que detecte.

▼ FIGURA 16.42
BOM para los productos A y B

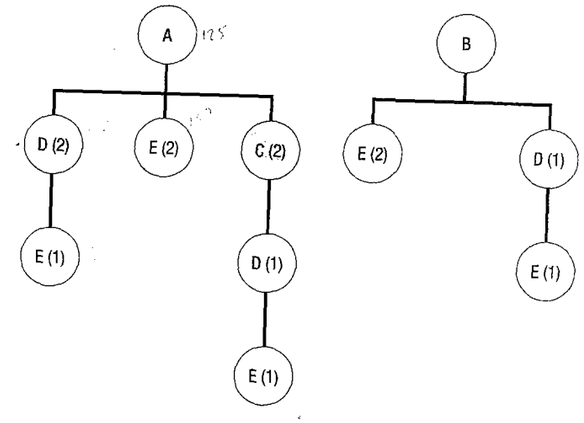


TABLA 16.5 | FECHAS DE INICIO PARA LAS CANTIDADES DEL MPS

	FECHA							
Producto	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
A		125		95		150		130
B			80			70		

TABLA 16.6 | DATOS DEL REGISTRO DE INVENTARIOS

	ARTÍCULO		
Categoría de datos	**C**	**D**	**E**
Regla de tamaño de lote	L×L	POQ ($P = 3$)	FOQ = 800
Tiempo de entrega	3 semanas	2 semanas	1 semana
Recepciones programadas	200 (en la semana 2)	Ninguna	800 (en la semana 1)
Inventario inicial	85	625	350

24. La BOM para el producto A se muestra en la figura 16.43. El MPS del producto A pide que 120 unidades inicien en las semanas 2, 4, 5 y 8. La tabla 16.7 muestra los datos de los registros de inventarios.

a) Desarrolle el plan de requerimientos de materiales para las siguientes ocho semanas para cada artículo.

b) ¿Qué acciones administrativas específicas se requieren en la semana uno? Asegúrese de abordar cualquier dificultad específica que encuentre en los registros de inventario.

FIGURA 16.43 ▶
BOM para el producto A

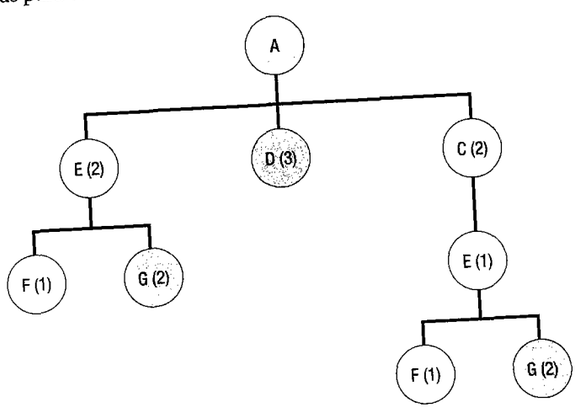


TABLA 16.7 | DATOS DEL REGISTRO DE INVENTARIOS

	ARTÍCULO				
Categoría de datos	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**
Regla de tamaño de lote	L×L	FOQ = 700	FOQ = 700	L×L	L×L
Tiempo de entrega	3 semanas	3 semanas	4 semanas	2 semanas	1 semana
Inventario de seguridad	0	0	0	50	0
Recepciones programadas	150 (semana 2)	450 (en la semana 2)	700 (en la semana 1)	Ninguna	1,400 (en la semana 1)
Inventario inicial	125	0	235	750	0

25. Nos referimos al problema resuelto 1 (figura 16.22) para la lista de materiales y la tabla 16.8 que contiene la información del registro de inventario de componentes. Desarrolle el plan de requerimientos de materiales para todas las componentes y artículos intermedios asociados con el producto A para las siguientes 10 semanas. El MPS para el producto A pide que 50 unidades inicien en las semanas 2, 6, 8 y 9. (*Advertencia:* los requerimientos de inventario de seguridad se aplican a los artículos B y C).

TABLA 16.8 | DATOS DEL REGISTRO DE INVENTARIOS

	ARTÍCULO					
Categoría de datos	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**
Regla de tamaño de lote	L×L	L×L	POQ ($P = 2$)	L×L	L×L	FOQ = 100
Tiempo de entrega	2 semanas	3 semanas	3 semanas	6 semanas	1 semana	3 semanas
Inventario de seguridad	30	10	0	0	0	0
Recepciones programadas	150 (en la semana 2)	50 (en la semana 2)	Ninguna	400 (en la semana 6)	40 (en la semana 3)	Ninguna
Inventario inicial	30	20	60	400	0	0

26. Los pronósticos de demanda de un artículo final para las siguientes seis semanas son 30 unidades, seguidas de pronósticos de 25 unidades en las semanas 7 a 10. El inventario disponible actual es 60 unidades. La política de ordenar es producir en lotes de 100. Las órdenes registradas para el artículo, comenzando en la semana uno, son 22, 30, 15, 11, 0, 0, 9, 0, 0 y 0 unidades. El tiempo de entrega es de dos semanas.

a) Desarrolle el MPS para este artículo final.

b) El departamento de Marketing recibió seis órdenes para este artículo con esta secuencia:

Orden 1 por 40 unidades para entregar en el periodo tres.

Orden 2 por 60 unidades para entregar en el periodo cuatro.

Orden 3 por 70 unidades para entregar en el periodo seis.

Orden 4 por 40 unidades para entregar en el periodo tres.

Orden 5 por 20 unidades para entregar en el periodo cinco.

Orden 6 por 115 unidades para entregar en el periodo nueve.

Suponiendo que el MPS prospectivo que desarrolló en el inciso *a)* no cambia, ¿qué órdenes podría usted aceptar con base en el inventario disponible para promesa?

27. Los pronósticos de demanda de un artículo final para las siguientes 10 semanas son 30, 30, 30, 30, 20, 20, 30, 30, 30, y 30 unidades. El inventario disponible actual es de 100 unidades. La política de ordenar es producir lotes de 75. Las órdenes registradas de los clientes, comenzando en la semana uno, son 15, 38, 7, 5, 0, 3, 10, 0, 0 y 0 unidades. El tiempo de entrega es de dos semanas.

a) Desarrolle un MPS para este artículo final.

b) El departamento de marketing recibió cinco órdenes para este artículo, con esta secuencia:

Orden 1 por 20 unidades para entregar en el periodo uno.

Orden 2 por 75 unidades para entregar en el periodo cuatro.

Orden 3 por 90 unidades para entregar en el periodo seis.

Orden 4 por 75 unidades para entregar en el periodo siete.

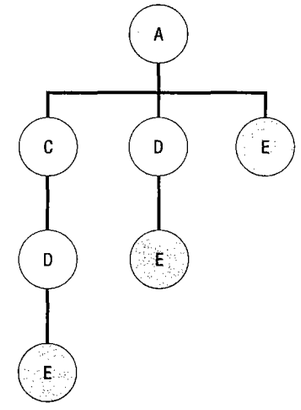
Orden 5 por 90 unidades para entregar en el periodo diez.

Suponiendo que el MPS prospectivo que desarrolló en el inciso *a)* no cambia, ¿qué órdenes podría aceptar, basándose en el inventario disponible para promesa?

28. La lista de materiales y los datos de los registros de inventario para el producto A se muestran en la figura 16.44. Suponga que las cantidades iniciales del MPS para A son 100 unidades en las semanas 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9 y 10.

Derive un plan PRM para los componentes que van en el producto A utilizando los datos de la tabla 16.9.

¿Qué acciones administrativas específicas se requieren en la semana uno? Asegúrese de abordar cualquier dificultad específica que encuentre en el registro de inventarios.

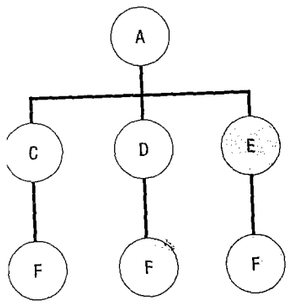


▲ FIGURA 16.44
BOM para el producto A

TABLA 16.9 | DATOS DEL REGISTRO DE INVENTARIOS

	ARTÍCULO		
Categoría de datos	**C**	**D**	**E**
Regla de tamaño de lote	L×L	L×L	FOQ = 300
Tiempo de entrega	1 semana	2 semanas	2 semanas
Recepciones programadas		100 (en la semana 2)	300 (en la semana 2)
Inventario inicial	225	350	100

29. La lista de materiales y los datos del registro de inventarios para el producto A se muestran en la figura 16.45. Suponga que las cantidades iniciales del MPS para A son 50 unidades en las semanas 1, 2 y 3, y 150 unidades en las semanas 6 y 8. Derive un plan PRM para las componentes que van en el producto A con los datos de la tabla 16.10.



▲ **FIGURA 16.45**
BOM para el producto A

TABLA 16.10 | DATOS DEL REGISTRO DE INVENTARIOS

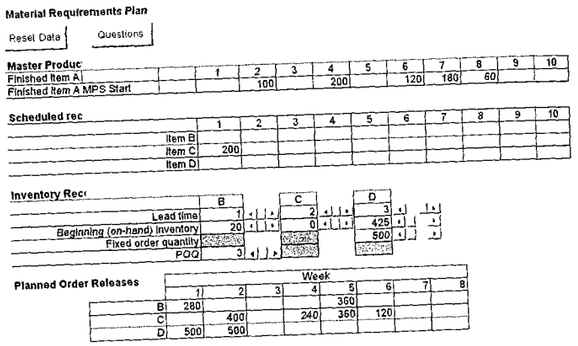
	ARTÍCULO			
Categoría de datos	**C**	**D**	**E**	**F**
Regla de tamaño de lote	POQ ($P = 2$)	L×L	FOQ = 300	FOQ = 400
Tiempo de entrega	1 semana	1 semana	2 semanas	4 semanas
Recepciones programadas		100 (semana 2)		400 (semana 1)
Inventario inicial	100	0	110	40

Ejercicio de modelo activo

Este modelo activo aparece en MyOMLab. Le permite evaluar la relación entre los datos del registro de inventarios y las liberaciones de órdenes planeadas.

PREGUNTAS

1. Suponga que POQ para el artículo B se cambia de tres semanas a dos semanas. ¿Cómo afecta este cambio las liberaciones de órdenes para los artículos B, C y D?
2. Conforme el inventario disponible del artículo C aumenta de 0 a 200, ¿qué ocurre con las liberaciones de órdenes para los artículos B, C y D?
3. Conforme la cantidad a ordenar fija (FOQ) para el artículo D aumenta de 500 a 750, ¿qué ocurre con las liberaciones de órdenes para los artículos B, C y D?
4. Cuando cambia el tiempo de entrega para el artículo C, ¿qué ocurre con las liberaciones de órdenes para los artículos B, C y D?



MODELO ACTIVO 16.1 ▲
La planeación de requerimientos de materiales utilizando los datos del problema resuelto 3 y la tabla 16.1.

CASO Flashy Flashers, Inc.

Flashy Flashers es una empresa mediana que da trabajo a 900 individuos y tiene a 125 personas en la administración. La empresa produce una línea de componentes automotrices eléctricas. Surte a aproximadamente 95 tiendas de autopartes y distribuidores de vehículos como el Moonbird Silverstreak en la región. Su presidente, Johnny Bennett, fundó la compañía produciendo cables de ensambles en su garaje. Trabajando duro, entregando un producto de calidad sólida y proporcionando un buen servicio al cliente, expandió su negocio para producir una variedad de componentes eléctricas. El compromiso de Bennett con el servicio al cliente es tan fuerte que el lema de su compañía. "Ama a tu cliente como a ti mismo", está grabado en una gran placa de hierro forjado debajo del enorme cuadro con su foto en el recibidor del edificio.

Los dos productos más rentables de la compañía son los faros lateral y superior para automóviles. Con la creciente popularidad de los autos sedán Eurosport, como el Moonbird Silverstreak. Flashy Flashers ha disfrutado una demanda sustancial de estos faros.

El año pasado, Kathryn Marley, la vicepresidenta de operaciones y administración de la cadena de suministros, aprobó la instalación de un nuevo sistema PRM. Este es un primer paso importante hacia la meta futura de un sistema ERP completo. Marley trabajó de cerca con la fuerza de trabajo que se creó para poner la PRM en línea. Con frecuencia asistió a las sesiones de capacitación para empleados seleccionados, haciendo hincapié en la ayuda que PRM puede dar a Flashy Flashers para asegurar una ventaja competitiva.

Un año después, el sistema PRM trabaja bien. Sin embargo, Marley piensa que siempre hay una mejor manera y busca continuamente perfeccionar los procesos de la compañía. Para tener un panorama más completo de las mejoras potenciales se reunió con el gerente de producción y control de inventario, el supervisor de la planta y el gerente de compras. Las siguientes son algunas de sus observaciones.

Gerente de producción y control de inventario

Los registros de inventarios y los archivos de listas de materiales son precisos y actualizados. Las transacciones del inventario se hacen fielmente cuando el inventario se reabastece o saca del almacén, por lo que los saldos disponibles actuales son creíbles. Se realiza la explosión PRM cada semana, lo que da a la compañía los nuevos planes de requerimientos de materiales. Proporciona información que ayuda a identificar cuándo deben iniciar las nuevas órdenes.

También puede buscarse información para ayudar a identificar qué recepciones programadas deben acelerarse y cuáles retrasarse asignándoles una fecha de entrega posterior, lo que da lugar para los trabajos más urgentes.

Quien hace la planeación sugirió que las salidas de la PRM debían extenderse para proporcionar prioridades y reportes de capacidad, con señalamientos de los artículos que necesitan atención. El plan original era implementar la capacidad de iniciar las órdenes primero; pero no hay un sistema formal de planeación de prioridades, además de las fechas de entrega asignadas a cada recepción programada cuando se libera, transformándola de una liberación planeada en una recepción programada. Las fechas de entrega no se actualizan, aun cuando haya pérdidas por desperdicio inesperado, faltantes de capacidad, envíos escasos o cambios de último minuto en el MPS (para responder a peticiones de buenos clientes). Los trabajos se programan en la planta y por los proveedores, de acuerdo con la regla FEC, basada en las fechas de entrega. Si se actualizaran las fechas de entrega asignadas a las recepciones programadas, esto podría ayudar a terminar las órdenes abiertas cuando realmente se necesitan. Más aún, la liberación de órdenes planeadas en el cubo de acciones se traduce en recepciones programadas (usando las transacciones de inventarios), después de verificar que sus componentes están disponibles. El sistema actual no considera los problemas de capacidad posibles cuando libera nuevas órdenes.

Supervisor de planta

Su queja principal es que las cargas de trabajo de la planta no están niveladas. Una semana, casi no tienen trabajo y el supervisor sobreproduce (más de lo que indican las recepciones programadas) nada más para mantener a la gente ocupada. La siguiente semana puede ser lo opuesto, tantas nuevas órdenes con fusibles cortos que casi todos debían trabajar tiempo extra o las cantidades programadas se reducían a cubrir las necesidades inmediatas. Es todo o nada, ¡a menos que hagan que las cosas funcionen en la planta! Sí hace transacciones de inventario para reportar las desviaciones del plan para las recepciones programadas, pero estos "reemplazos" hacen que la información sobre recepciones programadas en los registros de la PRM sea más incierta para quien planea. Una preocupación en particular es que aseguren que las estaciones cuello de botella se mantengan ocupadas.

Compras

Los compradores están apagando demasiados incendios, quedando poco tiempo para las compras creativas. En esos casos, dedican su tiempo a dar seguimiento a las órdenes que se requieren en un plazo muy corto o incluso a las que están retrasadas. Algunas veces, el plan PRM muestra liberaciones planeadas para los artículos comprados que se necesitan casi de inmediato, lo cual no deja lugar para el tiempo de entrega planeado. Al verificar los registros de la PRM, los tiempos de entrega planeados son realistas y es lo que esperan los proveedores. La semana pasada, las cosas estaban bien para un artículo y esta semana necesita colocarse una orden acelerada. ¿Cuál es el problema?

Marley trata de asimilar toda esta información. Decide recolectar toda la información necesaria acerca de los faros laterales y faros superiores (mostrada en las tablas 16.11 a 16.14 y en la figura 16.46) para tener un panorama de los posibles problemas e identificar las áreas que puede mejorar.

Su tarea

Piense que está en el lugar de Marley y prepare un informe con sus hallazgos. Específicamente se le pide que haga una explosión PRM manual para los faros lateral y superior para las siguientes seis semanas (comience con la semana actual). Suponga que ahora es la semana uno. Llene la forma de liberación de órdenes planeadas proporcionada en la tabla 16.15. Debe mostrar las liberaciones de órdenes planeadas para todos los artículos durante las siguientes seis semanas. Inclúyala en su informe.

TABLA 16.11 | NÚMEROS DE PARTES Y DESCRIPCIONES

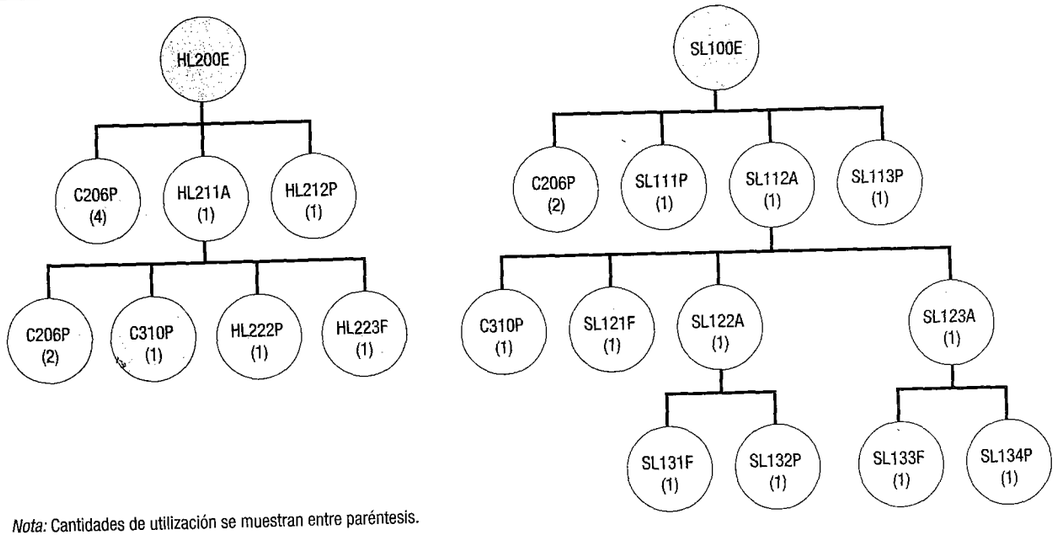
Número de parte	Descripción
C206P	Tornillos
C310P	Empaque de hule trasero
HL200E	Faro superior
HL211A	Subensamble de marco superior
HL212P	Luneta superior
HL222P	Módulo de faro superior
HL223F	Marco superior
SL100E	Faro lateral
SL111P	Luneta lateral
SL112A	Subensamble de marco lateral
SL113P	Empaque de hule luneta lateral
SL121F	Marco lateral
SL121F	Marco lateral
SL122A	Subensamble de bulbo lateral
SL123A	Subensamble de bulbo intermitente
SL131F	Arandela y toma de cable lateral
SL132P	Bulbo lateral
SL133F	Arandela y toma de cable intermitente
SL134P	Bulbo intermitente

TABLA 16.12 | PROGRAMA MAESTRO DE PRODUCCIÓN

Descripción de artículo y número de parte	Cantidad	Fechas de inicio MPS
Faro superior (HL200E)	120	Semana 4
	90	Semana 5
	75	Semana 6
Faro lateral (SL100E)	100	Semana 3
	80	Semana 5
	110	Semana 6

TABLA 16.13 | DEMANDA DE REFACCIONES

Descripción de artículo y número de parte	Cantidad	Fecha
Luneta lateral (SL111P)	40	Semana 3
	35	Semana 6



Nota: Cantidades de utilización se muestran entre paréntesis.

▲ FIGURA 16.46
BOM para faros superior y lateral

Complemente su informe con hojas de cálculo en la explosión PRM manual, y enumere las acciones que el departamento de planeación debe considerar esta semana para:

1. liberar nuevas órdenes, **2.** acelerar recepciones programadas y **3.** retrasar una fecha de entrega de una recepción programada.

Por último, identifique los puntos buenos y malos de la implementación de la PRM en Flashy Flashers. Concluya con sugerencias sobre las maneras de mejorar su proceso de planeación de recursos.

TABLA 16.14 | DATOS SELECCIONADOS DE LOS REGISTROS DE INVENTARIOS

Número de parte	Tiempo de entrega (semanas)	Inventario de seguridad (unidades)	Regla de tamaño de lote	Disponibles (unidades)	Recepción programada (unidades y fechas de entrega)
C206P	1	30	FOQ = 2,500	270	—
C310P	1	20	FOQ = 180	40	180 (semana 1)
HL211A	3	0	L×L	0	
HL212P	2	15	FOQ = 350	15	—
HL222P	3	10	POQ (*P* = 4 semanas)	10	285 (semana 1)
HL223F	1	0	POQ (*P* = 4 semanas)	0	120 (semana 1)
SL111P	2	0	FOQ = 350	15	—
SL112A	3	0	L×L	20	80 (semana 2)
SL113P	1	20	FOQ = 100	20	—
SL121F	2	0	L×L	0	80 (semana 2)
SL122A	2	0	L×L	0	80 (semana 2)
SL123A	2	0	FOQ = 200	0	—
SL131F	2	0	POQ (*P* = 2 semanas)	0	110 (semana 1)
SL132P	1	25	FOQ = 100	35	100 (semana 1)
SL133F	2	0	FOQ = 250		—
SL134P	1	0	FOQ = 400	100	—

Fuente: Este caso fue preparado por el profesor Soumen Ghosh, del Georgia Institute of Technology, solo para discusión en clase. Copyright © Soumen Ghosh. Utilizado con permiso.

TABLA 16.15 | FORMA DE LIBERACIÓN DE ORDEN PLANEADA

LLENE LAS LIBERACIONES DE ÓRDENES PLANEADAS PARA TODOS LOS COMPONENTES

	Semana					
Descripción de artículo y número de parte	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Luneta lateral (SL111P)						
Empaque de hule de luneta lateral (SL113P)						
Subensamble de marco lateral (SL112A)						
Marco lateral (SL121F)						
Subensamble de bulbo lateral (SL122A)						
Subensamble de bulbo intermitente (SL123A)						
Arandela y toma de cable lateral (SL131F)						
Arandela y toma de cable intermitente (SL133F)						
Bulbo lateral (SL132P)						
Bulbo intermitente (SL134P)						
Subensamble de marco superior (HL211A)						
Luneta superior (HL212P)						
Módulo de faro superior (HL222P)						
Marco superior (HL223F)						
Empaque de hule trasero (C310P)						
Tornillos (C206P)						

Referencias seleccionadas

Becker, Nathan. "iPad's Bill of Materials Close to first iPad". *Wall Street Journal*, 14 de marzo de 2011.

Bendoly, E. y M. Cotteleer. "Understanding Behavioral Sources of Process Variation following Enterprise System Deployment", *Journal of Operations Management*, vol. 26, núm. 1 (2008).

Davenport, Thomas H. "Putting the Enterprise into the Enterprise System", *Harvard Business Review* (julio-agosto de 1998), pp. 121-131.

Hendricks, Kevin B., Vinod R. Singhal y Jeff K. Stratman. "The Impact of Enterprise Systems on Corporate Performance: A Study of ERP, SCM and CRM System Implementations", *Journal of Operations Management*, vol. 25, núm. 1 (2007), pp. 65-82.

Jacobs, F. Robert, William Berry y D. Clay Whybark. *Manufacturing Planning and Control Systems for Supply Chain Management*, 6a. ed., Nueva York, McGraw-Hill/Irwin, 2010.

Jacobs, F. Robert y Weston, F.C. (Ted) Jr. "Enterprise Resource Planning (ERP)—A Brief History", *Journal of Operations Management*, vol. 25, núm. 2 (2007), pp. 357-363.

Mabert, Vincent A. "The Early Road to Materials Requirements Planning", *Journal of Operations Management*, vol. 25, núm. 2 (2007), pp. 346-356.

McAfee, A. y E. Brynjolfsson. "Investing in the IT That Makes a Competitive Advantage", *Harvard Business Review*, vol. 86 (julio-agosto de 2008), pp. 98-107.

McCue, Andy. "Too Much Candy: IT Glitch Costs Cadbury", *Business Week*, 8 de junio de 2006.

Scalle, Cedric X. y Mark J. Cotteleer. *Enterprise Resource Planning* (ERP), Boston, MA, Harvard Business School Publishing, 1999, núm. 9-699-020.

Wallace, Thomas F. *Sales & Operations Planning: The How-To Handbook*, 3a. ed., Cincinnati, OH, T. E. Wallace & Company, 2008.

Wallace, Thomas F. y Robert A. Stahl. *Master Scheduling in the 21st Century*, Cincinnati, OH:,T. E. Wallace & Company, 2003.

SUPLEMENTO

D

PROGRAMACIÓN LINEAL

En muchas situaciones de negocios, los recursos son limitados y su demanda es grande. Por ejemplo, un número limitado de vehículos tal vez deba programarse para que se hagan múltiples viajes para visitar a los clientes o deba desarrollarse un plan de personal para cubrir la demanda variable esperada con el menor número de empleados. En este suplemento describimos una técnica llamada **programación lineal**, que es útil para asignar recursos escasos entre demandas que compiten. Los recursos pueden ser tiempo, dinero o materiales y las limitaciones se conocen como restricciones. La programación lineal ayuda a los administradores a encontrar la mejor solución de asignación y a proporcionar información acerca del valor de los recursos adicionales.

programación lineal
Técnica útil para asignar recursos escasos entre demandas que compiten.

METAS DE APRENDIZAJE *Después de estudiar este suplemento, usted será capaz de:*

1. Describir la formulación de modelos para diferentes problemas.
2. Mostrar el análisis gráfico y las soluciones para problemas de dos variables.
3. Definir las variables de holgura, las variables de superávit y el análisis de sensibilidad.
4. Interpretar la salida de computadora de una solución de programación lineal.
5. Aplicar el método de transporte a problemas del plan de ventas y operaciones.

Conceptos básicos

Antes de poder presentar la solución de problemas de administración de operaciones y la cadena de suministro con programación lineal, debemos primero explicar varias características de todos los modelos de programación lineal y las suposiciones matemáticas que se aplican a los mismos: **1.** función objetivo, **2.** variables de decisión, **3.** restricciones, **4.** región factible, **5.** parámetros, **6.** linealidad y **7.** no negatividad.

La programación lineal es un proceso de *optimización*. Una **función objetivo** establece matemáticamente lo que se quiere maximizar (como ganancia o valor presente) o minimizar (como costo o desperdicio). La función objetivo proporciona el criterio según el cual se juzga lo atractivo de una solución.

función objetivo
Expresión en los modelos de programación lineal que establece matemáticamente lo que se quiere maximizar o minimizar.

Las **variables de decisión** representan las opciones que el tomador de decisiones puede controlar. La solución de problemas lleva a sus valores óptimos. Por ejemplo, una variable de decisión sería el número de unidades de un producto que se fabricará el mes próximo o el número de unidades de inventario que se deben tener el siguiente mes. La programación lineal se basa en la suposición de que las variables de decisión son *continuas*; pueden ser cantidades fraccionarias y no es necesario que sean enteros. Con frecuencia, esta suposición es realista, como cuando las

variables de decisión
Variables que representan las opciones que el tomador de decisiones puede controlar.

variables de decisión se expresan en dólares, horas o alguna otra medida continua. Incluso cuando las variables de decisión representan unidades indivisibles, como trabajadores, mesas o camiones, algunas veces podemos simplemente redondear la solución de programación lineal hacia arriba o hacia abajo para obtener una solución razonable que no viole las restricciones o podemos usar una técnica más avanzada, llamada *programación entera*.

restricciones
En programación lineal, las limitaciones que restringen las opciones permitidas para las variables de decisión.

Las **restricciones** son las limitaciones que condicionan las opciones permitidas para las variables de decisión. Cada limitación se expresa matemáticamente en una de tres maneras: restricción menor o igual que (≤), igual que (=) o mayor o igual que (≥). Una restricción ≤ coloca un límite superior en alguna función de las variables de decisión y casi siempre se usa en problemas de maximización. Por ejemplo, una restricción ≤ especificaría el número máximo de clientes que se pueden servir o la capacidad límite de una máquina. Una restricción = significa que la función debe ser igual a algún valor. Por ejemplo, deben fabricarse 100 unidades (no 99 o 101) de un producto. Una restricción = se usa con frecuencia para ciertas relaciones obligatorias, como el hecho de que el inventario final debe siempre ser igual al inventario inicial más la producción menos las ventas. Una restricción ≥ coloca un límite inferior sobre alguna función de las variables de decisión. Por ejemplo, una restricción ≥ especificaría que la producción de un artículo debe exceder o ser igual a la demanda.

región factible
Una región que representa todas las combinaciones permitidas de las variables de decisión en un modelo de programación lineal.

Cada problema de programación lineal debe tener una o más restricciones. Las restricciones juntas definen una **región factible**, que representa todas las combinaciones permitidas de las variables de decisión. En algunas situaciones inusuales, el problema está tan restringido que existe solo una solución posible o quizá ninguna. Sin embargo, en el caso usual, la región factible contiene una cantidad infinita de soluciones posibles, suponiendo que las combinaciones factibles de las variables de decisión pueden ser valores fraccionarios. La meta del tomador de decisiones es encontrar la mejor solución posible.

parámetro
Un valor que el tomador de decisiones no puede controlar y que no cambia cuando se deriva la solución.

La función objetivo y las restricciones son funciones de las variables de decisión y de parámetros. Un **parámetro**, también llamado *coeficiente* o *constante dada*, es un valor que el tomador de decisiones no puede controlar y que no cambia cuando se deriva la solución. Se supone que cada parámetro se conoce con **certidumbre**. Por ejemplo, cuando un programador de computadora no sabe que correr un programa de software tomará 30 minutos, ni más ni menos.

certidumbre
La palabra que se utiliza para describir que un hecho se conoce con certeza.

linealidad
Una característica de los modelos de programación lineal que implica la proporcionalidad y la aditividad: no puede haber productos o potencias de las variables de decisión.

Se supone que la función objetivo y las ecuaciones de restricción son lineales. La **linealidad** implica proporcionalidad y aditividad: no puede haber productos (como $10x_1x_2$) o potencias (como x_1^3) de las variables de decisión. Suponga que la ganancia obtenida al producir dos tipos de productos (representados por las variables de decisión x_1 y x_2) es $2x_1 + 3x_2$. La proporcionalidad implica que una unidad de x_1 contribuye $2 a las ganancias y dos unidades contribuyen $4, no importa cuánto se produzca de x_1. De manera similar, cada unidad de x_2 contribuye $3, sea la primera o la décima unidad producida. La aditividad significa que el valor total de la función objetivo es igual a las ganancias de x_1 más las ganancias de x_2.

no negatividad
Una suposición de que las variables de decisión deben ser positivas o cero.

Por último, hacemos la suposición de **no negatividad**, que quiere decir que las variables de decisión deben ser positivas o cero. Una empresa que hace salsa para espagueti, por ejemplo, no puede producir un número negativo de frascos. Para que sea formalmente correcto, una formulación de programación lineal debe mostrar una restricción ≥ 0 para cada variable de decisión.

Aunque las suposiciones de linealidad, certidumbre y variables continuas son restrictivas, la programación lineal ayuda a los administradores a analizar muchos problemas complejos de asignación de recursos. El proceso de elaborar el modelo fuerza a los administradores a identificar variables de decisión y restricciones importantes, que es un paso útil en por sí mismo. Identificar la naturaleza y alcance del problema representa un paso primordial hacia la solución. En una sección posterior, presentamos la ayuda que el análisis de sensibilidad puede prestar al administrador para manejar las incertidumbres en los parámetros y contestar preguntas de "qué pasa si".

Formulación de un problema

problema de mezcla de productos
Un tipo de problema de planeación de un periodo cuya solución lleva a las cantidades de salida óptimas (o mezcla de productos) de un grupo de servicios o productos sujetos a las restricciones de capacidad de los recursos y de la demanda del mercado.

Las aplicaciones de programación lineal comienzan con la formulación de un *modelo* del problema con las características generales descritas. Ilustramos el proceso de modelado con el **problema de la mezcla de productos**, que es un tipo de problema de planeación de un periodo, cuya solución lleva a las cantidades de salida (o mezcla de productos) de un grupo de servicios o productos sujetos a las restricciones de capacidad de recursos y demanda del mercado. Este problema se introdujo en el capítulo 7, "Administración de restricciones" y ahora lo retomamos de manera más formal. Formular un modelo que represente cada problema único, utilizando la siguiente secuencia de tres pasos, es la parte más creativa y tal vez la más difícil de programación lineal.

Paso 1. Definir las variables de decisión. ¿Qué debe decidirse? Defina cada variable de decisión específicamente, recordando que las definiciones usadas en la función objetivo deben tener la misma utilidad para las restricciones. Las definiciones deben ser tan específicas como sea posible. Considere las siguientes dos definiciones alternativas:

x_1 = producto 1
x_1 = número de unidades del producto 1 a producir y vender el mes siguiente

La segunda definición es mucho más específica que la primera y facilita el resto de los pasos.

Paso 2. Escribir la función objetivo. ¿Qué debe minimizarse o maximizarse? Si es la ganancia del próximo mes, escriba la función objetivo que expresa las ganancias del próximo mes como una función lineal de las variables de decisión. Identifique los parámetros que van con cada una. Por ejemplo, si cada unidad de x_1 vendida da una ganancia de $7, la ganancia del producto 1 fabricado es $7x_1$. Si una variable no tiene impacto en la función objetivo, su coeficiente es 0. La función objetivo muchas veces se iguala a Z y la meta es maximizar o minimizar Z.

Paso 3. Escribir las restricciones. ¿Qué limita a los valores de las variables de decisión? Identifique las restricciones y los parámetros para cada variable de decisión en ellas. Igual que con la función objetivo, el parámetro de una variable que no tiene impacto en una restricción es 0. Para que sea formalmente correcto, también escriba las restricciones de no negatividad.

Como verificación, asegúrese de que se usa la misma unidad de medida en ambos lados de cada restricción y en la función objetivo. Por ejemplo, suponga que el lado derecho de una restricción es horas de capacidad por mes. Entonces, si una variable de decisión en el lado izquierdo de la restricción mide el número de unidades producidas por mes, las dimensiones del parámetro que se multiplica por la variable de decisión deben ser horas por unidad porque

$$\frac{\text{Horas}}{\cancel{\text{unidad}}} \times \frac{\cancel{\text{unidad}}}{\text{mes}} = \frac{\text{horas}}{\text{mes}}$$

Por supuesto, también se puede ir de un paso a otro y regresar, dependiendo de la parte del problema que tenga su atención. Si no logra pasar el paso 1, intente un nuevo conjunto de definiciones para las variables de decisión. Con frecuencia, el problema se modela correctamente de varias maneras.

EJEMPLO D.1 Formulación de un modelo de programación lineal

Stratton Company produce dos tipos básicos de tubería de plástico. Tres recursos son cruciales para la salida de la tubería: horas de extrusión, horas de empaque y un aditivo especial para la materia prima del plástico. Los siguientes datos representan la situación de la próxima semana. Todos los datos se expresan en unidades de 100 pies de tubería.

	PRODUCTO		
Recurso	**Tipo 1**	**Tipo 2**	**Disponibilidad del recurso**
Extrusión	4 h	6 h	48 h
Empaque	2 h	2 h	18 h
Mezcla aditiva	2 lb	1 lb	16 lb

La contribución a las ganancias y gastos generales por 100 pies de tubería es $34 por el tipo 1 y $40 por el tipo 2. Formule un modelo de programación lineal para determinar cuánta tubería de cada tipo debe producirse para maximizar la contribución a las ganancias y gastos generales, suponiendo que todo lo producido se puede vender.

SOLUCIÓN

Paso 1. Para definir las variables de decisión que determinan la mezcla de productos, sea

x_1 = cantidad de tubería del tipo 1 a producir y vender la semana próxima, medida en incrementos de 100 pies (*por ejemplo*, $x_1 = 2$ significa 200 pies de tubería tipo 1)

y

x_2 = cantidad de tubería del tipo 2 a producir y vender las semana próxima, medida en incrementos de 100 pies.

Paso 2. Después definimos la función objetivo. La meta es maximizar la contribución total a las ganancias y gastos generales de los dos productos. Cada unidad de x_1 deja $34, y cada unidad de x_2 deja $40. Para los valores específicos de x_1 y x_2, encontramos la ganancia total multiplicando el número de unidades producidas de cada producto por la ganancia por unidad y sumándolas. Así, la función objetivo es:

$$\text{Maximizar: } \$34x_1 + \$40x_2 = Z$$

Paso 3. El paso final es formular las restricciones. Cada unidad de x_1 y x_2 producida consume parte de los recursos cruciales. En el departamento de extrusión, una unidad de x_1 requiere 4 horas y una unidad de x_2 requiere

6 horas. El total no debe exceder las 48 horas de capacidad disponible, de manera que utilizamos el signo ≤. Entonces, la primera restricción es:

$$4x_1 + 6x_2 \leq 48$$

De la misma manera, podemos formula restricciones para empaque y materias primas:

$$2x_1 + 2x_2 \leq 18 \text{ (empaque)}$$
$$2x_1 + x_2 \leq 16 \text{ (mezcla aditiva)}$$

Estas tres restricciones limitan la elección de los valores para las variables de decisión porque los valores que seleccionemos de x_1 y x_2 deben satisfacer estas restricciones. Los valores negativos de x_1 y x_2 no tienen sentido, de manera que agregamos las restricciones de no negatividad al modelo:

$$x_1 \geq 0 \text{ y } x_2 \geq 0 \text{ (restricciones de no negatividad)}$$

Ahora establecemos el modelo completo, usando las definiciones de las variables.

$$\begin{aligned} \text{Maximizar: } \$34x_1 + \$40x_2 &= Z \\ \text{sujeta a: } 4x_1 + 6x_2 &\leq 48 \\ 2x_1 + 2x_2 &\leq 18 \\ 2x_1 + x_2 &\leq 16 \\ x_1 \geq 0 \text{ y } x_2 &\geq 0 \end{aligned}$$

donde:

x_1 = cantidad de tubería del tipo 1 a producir y vender la próxima semana, medida en incrementos de 100 pies.

x_2 = cantidad de tubería del tipo 2 a producir y vender la próxima semana, medida en incrementos de 100 pies.

Análisis gráfico

método gráfico de programación lineal

Tipo de análisis gráfico que incluye los siguientes cinco pasos: graficar las restricciones, identificar la región factible, graficar una recta de la función objetivo, encontrar una solución visual y encontrar la solución algebraica.

Una vez formulado el modelo, buscamos la solución óptima. En la práctica, casi todos los problemas de programación lineal se resuelven con una computadora. Sin embargo, la percepción del significado de la salida de computadora "y de los conceptos de programación lineal en general" quizá sea mejor si se analiza un problema sencillo de dos variables con el **método gráfico de programación lineal**. Entonces, comenzamos con el método gráfico aunque no sea una técnica práctica para resolver problemas que tienen más de tres variables. Los cinco paso básicos son: **1.** *graficar las restricciones*, **2.** *identificar la región factible*, **3.** *graficar una recta de la función objetivo*, **4.** *encontrar una solución visual* y **5.** *encontrar la solución algebraica.*

Graficar las restricciones

Comenzamos por graficar las ecuaciones de restricción, sin tomar en cuenta la parte de la desigualdad de la restricción (< o >). Al convertir cada restricción en una igualdad (=) se transforma en la ecuación de una línea recta. La recta puede dibujarse con sólo identificar dos puntos en ella y se elige cualesquiera dos puntos razonablemente separados; una forma sencilla es encontrar las *intercepciones con los ejes*, donde la recta cruza cada eje. Para encontrar la intercepción con el eje x_1, se iguala x_2 a 0 y se despeja x_1. Para la Stratton Company en el ejemplo D.1, la ecuación de la recta para el proceso de extrusión es:

$$4x_1 + 6x_2 = 48$$

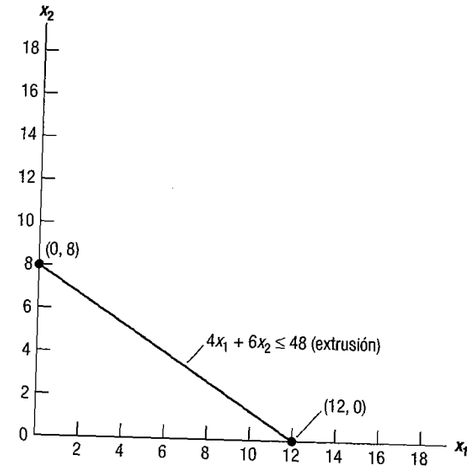
Para la intercepción con el eje x_1, se hace $x_2 = 0$, de manera que,

$$\begin{aligned} 4x_1 + 6(0) &= 48 \\ x_1 &= 12 \end{aligned}$$

Para encontrar la intercepción con el eje x_2, hacemos $x_1 = 0$ y despejamos x_2:

$$\begin{aligned} 4(0) + 6x_2 &= 48 \\ x_2 &= 8 \end{aligned}$$

Conectamos los puntos (0, 8) y (12, 0) con una línea recta, como se muestra en la figura D.1.



◀ **FIGURA D.1**
Gráfica de la restricción de extrusión

EJEMPLO D.2 **Graficar las restricciones**

Para el problema de Stratton Company, grafique las otras restricciones: una para el empaque y otra para la mezcla aditiva.

SOLUCIÓN

La ecuación para la línea del proceso de empaque es $2x_1 + 2x_2 = 18$. Para encontrar la intercepción x_1, se hace $x_2 = 0$:

$$\begin{aligned} 2x_1 + 2(0) &= 18 \\ x_1 &= 9 \end{aligned}$$

Para encontrar la intercepción con el eje x_2, se hace $x_1 = 0$:

$$\begin{aligned} 2(0) + 2x_2 &= 18 \\ x_2 &= 9 \end{aligned}$$

La ecuación para la recta de la mezcla aditiva es $2x_1 + x_2 = 16$. Para encontrar la intercepción x_1, se hace $x_2 = 0$:

$$\begin{aligned} 2x_1 + 0 &= 16 \\ x_1 &= 8 \end{aligned}$$

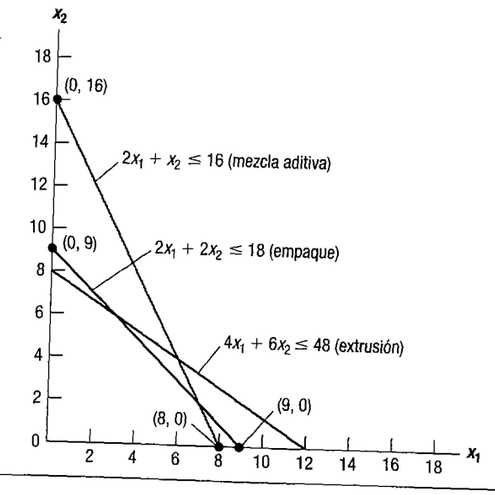
Para encontrar la intercepción con el eje x_2, se hace $x_1 = 0$:

$$\begin{aligned} 2(0) + x_2 &= 16 \\ x_2 &= 16 \end{aligned}$$

Conectamos los puntos (0, 9) y (9, 0) con una recta para la restricción de empaque y los puntos (0, 16) y (8, 0) para la restricción de la mezcla aditiva. La figura D.2 muestra la gráfica de las tres rectas.

MyOMLab
El modelo activo D.1 en MyOMLab ofrece mucha información sobre el *análisis gráfico* y el *análisis de sensibilidad*. Utilícelo cuando estudie los ejemplos D.2 a D.4.

MyOMLab
El tutor D.1 en MyOMLab proporciona un nuevo ejemplo práctico para graficar las restricciones.



◀ **FIGURA D.2**
Gráfica de las tres restricciones

Identificar la región factible

La región factible es el área en la gráfica que contiene las soluciones que satisfacen todas las restricciones al mismo tiempo, incluyendo las de no negatividad. Para encontrar la región factible, primero se localizan los puntos factibles para cada restricción y luego el área que satisface todas las restricciones. En general, las siguientes tres reglas identifican los puntos factibles para una restricción dada:

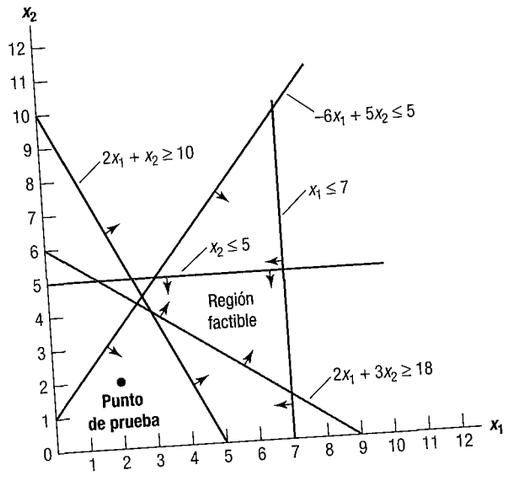
1. Para la restricción de =, solo los puntos sobre la recta son soluciones factible.
2. Para la restricción ≤, los puntos sobre la recta y los puntos abajo o a la izquierda de ella son soluciones factibles.
3. Para la restricción ≥, los puntos sobre la línea recta y los puntos arriba o a la derecha de ella son soluciones factibles.

Las excepciones a estas reglas ocurren cuando uno o más parámetros en el lado izquierdo de la restricción son negativos. En esos casos, dibujamos la recta de restricción y probamos un punto en cada lado de ella. Si el punto no satisface la restricción, ese lado es el lado no factible. Suponga que un modelo de programación lineal tiene las siguientes cinco restricciones más las dos de no negatividad:

$$2x_1 + x_2 \geq 10$$
$$2x_1 + 3x_2 \geq 18$$
$$x_1 \leq 7$$
$$x_2 \leq 5$$
$$-6x_1 + 5x_2 \leq 5$$
$$x_1, x_2 \geq 0$$

La región factible es la porción sombreada de la figura D.3. Las flechas mostradas en cada restricción identifican el lado de la recta que es factible. Las reglas funcionan para todas menos la quinta restricción que tiene un parámetro negativo, –6, para x_1. Seleccionamos arbitrariamente (2, 2) como punto de prueba, que está abajo de la recta a la derecha. En este punto, encontramos $-6(2) + 5(2) = -2$. Como –2 no excede a 5, la porción de la figura que contiene el punto (2, 2) es factible, al menos para esta quinta restricción.

FIGURA D.3 ▶
Identificación de la región factible



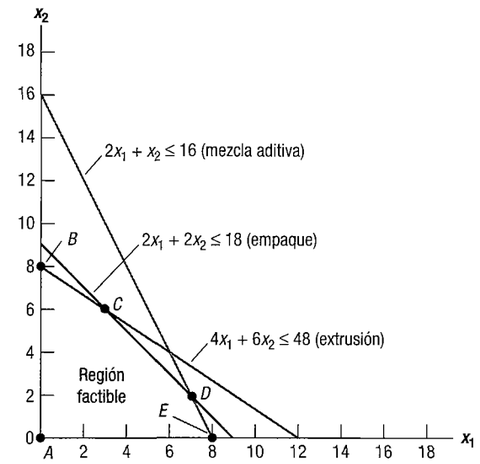
EJEMPLO D.3 **Identificar la región factible**

Identifique la región factible para el problema de Stratton Company.

SOLUCIÓN

Como el problema contiene sólo restricciones ≤ y los parámetros en el lado izquierdo de las restricciones son no negativos, las porciones factibles están a la izquierda y abajo de cada restricción. La región factible sombreada en la figura D.4 satisface las tres restricciones al mismo tiempo.

◀ FIGURA D.4
Identificación de la región factible



Graficar la recta de la función objetivo

Ahora queremos encontrar la solución que optimiza la función objetivo. Aunque todos los puntos en la región factible representan soluciones posibles, podemos limitar nuestra búsqueda a los puntos esquina. Un **punto esquina** está en la intersección de dos (o posiblemente más) rectas de restricción en la frontera de la región factible. No es necesario considerar los puntos interiores en la región factible porque al menos un punto esquina es mejor que cualquier punto interior. De igual manera, otros puntos en la frontera de la región factible pueden ignorarse porque un punto esquina es al menos tan bueno como cualquiera de ellos.

punto esquina
Punto que está en la intersección de dos (o tal vez más) rectas de restricción en la frontera de la región factible.

En la figura D.4 se marcaron los cinco puntos esquina como *A*, *B*, *C*, *D* y *E*. El punto *A* es el origen (0, 0) y se puede ignorar, ya que cualquier otro punto factible es una solución mejor. Podemos probar cada uno de los otros puntos esquina en la función objetivo y seleccionar el que maximice *Z*. Por ejemplo, el punto esquina *B* es (0, 8). Si sustituimos estos valores en la función objetivo, la *Z* que se obtiene es 320:

$$34x_1 + 40x_2 = Z$$
$$34(0) + 40(8) = 320$$

Sin embargo, no podemos leer con toda precisión los valores de x_1 y x_2 para algunos otros puntos (como *C* o *D*) en la gráfica. Resolver algebraicamente dos ecuaciones lineales para cada punto esquina es ineficiente cuando se tienen muchas restricciones y por lo mismo muchos puntos esquina.

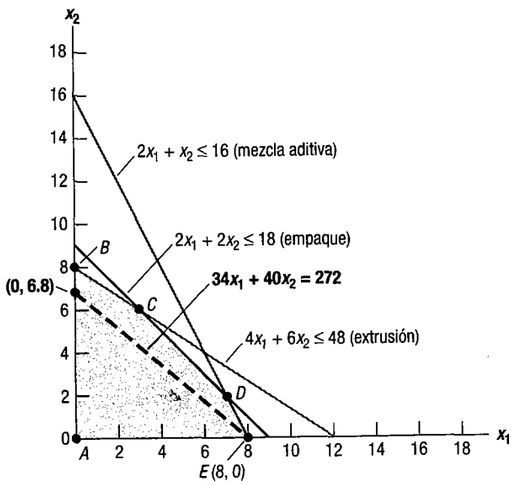
El mejor enfoque es trazar la función objetivo en la gráfica de la región factible para algunos valores arbitrarios de *Z*. De estas rectas de la función objetivo, podemos detectar la mejor solución de manera visual. Si la función objetivo es ganancia, la recta se llama *isolínea de ganancia* y cada punto en esa recta dará la misma ganancia. Si *Z* mide el costo, la recta se llama *isolínea de costo* y cada punto en ella representa el mismo costo. Podemos simplificar la búsqueda graficando la primera recta en la región factible, esperando que se encuentre cerca de la solución óptima. Para el ejemplo de la compañía Stratton, pasamos la recta por el punto *E*(8, 0). Este punto es un punto esquina. Puede incluso ser la solución óptima porque está lejos del origen. Para dibujar la recta, primero identificamos el valor de *Z* como $34(8) + 40(0) = 272$. Por lo tanto, la ecuación de esta recta para la función objetivo que pasa por *E* es:

$$34x_1 + 40x_2 = 272$$

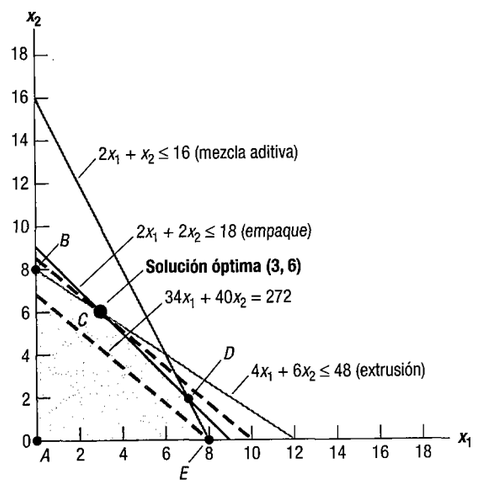
Cada punto en la recta definida por esta ecuación tiene un valor *Z* de la función objetivo de 272. Para dibujar la recta debemos identificar un segundo punto en ella y luego conectar los dos puntos. Utilizamos la intercepción con x_2, donde $x_1 = 0$:

$$34(0) + 40x_2 = 272$$
$$x_2 = 6.8$$

La figura D.5 muestra la isolínea de ganancia que conecta los puntos (8, 0) y (0, 6.8). Se traza una serie de rectas punteadas paralelas a esta primera recta. Cada una tendrá su propio valor *Z*. Las rectas arriba de la primera tendrán valores más altos de *Z*. Las rectas abajo de ella tendrán valores de *Z* menores.



▲ **FIGURA D.5**
Una isolínea de ganancia que pasa por (8, 0)



▲ **FIGURA D.6**
Trazo de una segunda isolínea de ganancia

Encontrar una solución visual

Ahora eliminamos los puntos A y E de la consideración para la solución óptima porque hay puntos mejores arriba a la derecha de la recta $Z = 272$. Nuestra meta es maximizar las ganancias, de manera que la mejor solución es un punto en la isolínea de ganancia que está *más lejos* del origen, pero que todavía toque la región factible. (Para los problemas de minimización se trata de un punto en la región factible sobre la isolínea de costo que está *más cerca* del origen).[1] Para identificar cuál de los puntos esquina restantes (*B*, *C* o *D*) es óptimo, trazamos una o más isolíneas de ganancia paralelas a la primera, que den valores de *Z* mejores (mayores para maximización y menores para minimización). La recta que nada más toca la región factible identifica la solución óptima. Para el problema de la compañía Stratton, la figura D.6 muestra la segunda isolínea de ganancias. La solución óptima es el último punto que toca de la región factible: el punto *C*. Parece que está en la vecindad de (3, 6), pero la solución visual no es exacta.

Un problema lineal puede tener *más de una solución óptima*. Esta situación ocurriría si la función objetivo es paralela a uno de los lados de la región factible, como sería el caso si nuestra función objetiva en el problema de Stratton fuera $\$38x_1 + \$38x_2$. Los puntos (3, 6) y (7, 2) serían óptimos, al igual que todos los puntos en la recta que conecta estos puntos equina. En esos casos, es probable que la administración base su decisión final en los factores no cuantificables. Es importante comprender que es necesario considerar solo los puntos esquina de la región factible al optimizar una función objetivo.

Encontrar una solución algebraica

Para encontrar una solución exacta, debemos usar álgebra. Comenzamos por identificar el par de restricciones que definen el punto esquina en su intersección. Luego escribimos las restricciones como ecuaciones y las resolvemos simultáneamente para encontrar las coordenadas x_1, x_2 del punto esquina. Las ecuaciones simultáneas se resuelven de varias maneras. En problemas pequeños, la solución más sencilla es la siguiente:

Paso 1. Desarrollar una ecuación con solo una incógnita. Comenzar por multiplicar ambos lados de la ecuación por una constante, de manera que el coeficiente de una de las dos variables de decisión sea *idéntico* en las dos ecuaciones. Luego restar una ecuación de la otra y despejar la única incógnita de la ecuación que resulta.

Paso 2. Insertar este valor de la variable de decisión en alguna de las dos restricciones originales y despejar la otra variable de decisión.

[1] Las frases "más lejos del origen" y "más cerca del origen" no son ciertas cuando hay coeficientes negativos en la función objetivo.

EJEMPLO D.4 **Encontrar algebraicamente la solución óptima**

Encuentre algebraicamente la solución óptima del problema de Stratton Company. ¿Cuál es el valor de *Z* cuando las variables de decisión tienen valores óptimos?

MyOMLab
El tutor D.2 en MyOMLab proporciona un nuevo ejemplo práctico para encontrar la solución óptima.

SOLUCIÓN

Paso 1. La figura D.6 mostró que el punto esquina óptimo está en la intersección de las restricciones de extrusión y empaque. Escribimos las restricciones como igualdades y tenemos:

$$4x_1 + 6x_2 = 48 \text{ (extrusión)}$$
$$2x_1 + 2x_2 = 18 \text{ (empaque)}$$

Multiplicamos cada término en la restricción de empaque por 2. La restricción de empaque ahora queda $4x_1 + 4x_2 = 36$. Después restamos la restricción de empaque de la restricción de extrusión. El resultado será una ecuación en la que no aparece x_1. (De otra manera, podríamos multiplicar la segunda ecuación por 3 para que x_2 saliera después de la resta). Entonces,

$$\begin{aligned} 4x_1 + 6x_2 &= 48 \\ -(4x_1 + 4x_2 &= 36) \\ \hline 2x_2 &= 12 \\ x_2 &= 6 \end{aligned}$$

Paso 2. Al sustituir el valor de x_2 en la ecuación de extrusión, obtenemos:

$$\begin{aligned} 4x_1 + 6(6) &= 48 \\ 4x_1 &= 12 \\ x_1 &= 3 \end{aligned}$$

Así, el punto óptimo es (3, 6). Esta solución da una ganancia total de $34(3) + 40(6) = \$342$.

PUNTO DE DECISIÓN

La administración de Stratton Company decidió producir 300 pies de tubería tipo 1 y 600 pies de tubería tipo 2 para la siguiente semana y obtener una ganancia total de $342.

Variables de holgura y superávit

La figura D.6 muestra que la mezcla de productos óptima agota todos los recursos de extrusión y empaque porque en el punto esquina óptimo (3, 6) las restricciones son igualdades. Al sustituir los valores de x_1 y x_2 en estas restricciones se ve que los lados derechos son iguales a los lados izquierdos:

$$4(3) + 6(6) = 48 \text{ (extrusión)}$$
$$4(3) + 2(6) = 18 \text{ (empaque)}$$

Una restricción (como la de extrusión) que ayuda a formar el punto esquina óptimo se llama **restricción activa** porque limita la habilidad de mejorar la función objetivo. Si una restricción activa se relaja, o se hace menos restrictiva, es posible encontrar una mejor solución. Relajar una restricción significa aumentar el parámetro del lado derecho si es del tipo ≤ o disminuirlo si es una restricción del tipo ≥. No es posible una mejora cuando se relaja una restricción que no es activa, como la restricción de mezcla aditiva en la figura D.6. Si se aumentara el lado derecho de 16 a 17 y el problema se resuelva de nuevo, la solución óptima no cambiaría. En otras palabras existe más mezcla aditiva de la necesaria.

Para las restricciones de desigualdad no activas, es útil saber cuánto difieren el lado derecho y el izquierdo. Esta información nos dice qué tan cerca está la restricción de convertirse en activa. Para una restricción de ≤, la cantidad por la que el lado izquierdo se queda corto respecto al lado derecho se llama **holgura**. Para una restricción ≥, la cantidad por la que el lado izquierdo excede al lado derecho se llama **superávit**. Para encontrar algebraicamente la holgura de una restricción ≤, *sumamos* una variable de holgura a la restricción para convertirla en una igualdad. Después, sustituimos los valores de las variables de decisión y despejamos la holgura. Por ejemplo, la restricción de mezcla aditiva en la figura D.6, $2x_1 + x_2 \leq 16$, se reescribe agregando la variable de holgura s_1:

$$2x_1 + x_2 + s_1 = 16$$

Entonces encontramos la variable de holgura en la solución óptima (3, 6):

$$\begin{aligned} 2(3) + 6 + s_1 &= 16 \\ s_1 &= 4 \end{aligned}$$

restricción limitante
Restricción que ayuda a formar el punto esquina óptimo; limita la habilidad de mejorar la función objetivo.

holgura
Cantidad por la que el lado izquierdo de una restricción de programación lineal se queda corto respecto al lado derecho.

superávit
Cantidad por la que el lado izquierdo de una restricción de programación lineal excede al lado derecho.

El procedimiento es muy parecido si queremos encontrar el superávit para una restricción tipo ≥, excepto que *restamos* una variable de superávit del lado izquierdo. Suponga que $x_1 + x_2 \geq 6$ es otra restricción en el problema de Stratton, que representa una cota inferior sobre el número de unidades producidas. Reescribimos ahora la restricción restando una variable de superávit s_2:

$$x_1 + x_2 - s_2 = 6$$

MyOMLab

El tutor D.3 en MyOMLab proporciona otro ejemplo de práctica para encontrar la variable de holgura.

El superávit en la solución óptima (3, 6) sería:

$$3 + 6 - s_2 = 6$$
$$s_2 = 3$$

Análisis de sensibilidad

Rara vez los parámetros de la función objetivo y las restricciones se conocen con certidumbre. Con frecuencia son solo estimaciones de los valores reales. Por ejemplo, las horas disponibles de empaque y extrusión en el caso de Stratton son estimaciones que no reflejan las incertidumbres asociadas con el ausentismo o transferencias de personal y las horas requeridas por unidad de empaque y extrusión pueden ser estimaciones que en esencia son promedios. De la misma manera, los coeficientes de contribuciones a la ganancia utilizadas en la función objetivo no reflejan las incertidumbres de los precios de venta y de variables de costo como salarios, materias primas y envíos.

MyOMLab

A pesar de estas incertidumbres, las estimaciones iniciales son necesarias para resolver el problema. Los sistemas de contabilidad, marketing e información (véase el suplemento H de MyOMLab) muchas veces proporcionan estas estimaciones iniciales. Después de resolver el problema con estos valores estimados, el analista determina cuánto los valores óptimos de las variables de decisión y el valor Z de la función objetivo quedarán afectados, si ciertos parámetros tienen valores diferentes. Este tipo de análisis posterior a la solución para responder a preguntas de "qué pasa si" se llama *análisis de sensibilidad.*

Una manera de realizar un análisis de sensibilidad en problemas de programación lineal es el enfoque de la fuerza bruta de cambiar uno o más valores de parámetros y resolver el problema completo. Este enfoque puede ser aceptable para problemas pequeños, pero es ineficiente si el problema tiene muchos parámetros. Por ejemplo, el análisis de sensibilidad con fuerza bruta usando tres valores distintos para cada uno de los 20 coeficientes de la función objetivo requiere 3^{20} o ¡3,486,784,401 soluciones! Por fortuna, existen métodos eficientes para obtener información de sensibilidad sin resolver el problema completo y se usan en forma rutinaria en la mayoría de los paquetes de software de programación lineal. La tabla D.1 describe los cuatro tipos básicos de información que proporciona la programación lineal.

TABLA D.1 | INFORMACIÓN DE ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PROPORCIONADA POR PROGRAMACIÓN LINEAL

Término clave	Definición
Costo reducido	Cuánto mejoran a la función objetivo los coeficientes de una variable de decisión (aumento para maximización y disminución para minimización) antes de que cambie la solución óptima y la variable de decisión "entre" a la solución con algún número positivo.
Precio sombra	La mejora marginal en Z (aumento para maximización y disminución para minimización) ocasionada al relajar la restricción en una unidad.
Rango de optimalidad	Intervalo (cotas inferior y superior) de un coeficiente de la función objetivo en el cual los valores óptimos de las variables de decisión no cambian.
Rango de factibilidad	Intervalo (cotas inferior y superior) en el cual el parámetro del lado derecho de una restricción puede variar mientras que el precio sombra sigue siendo válido.

Solución por computadora

método símplex

Procedimiento iterativo para resolver problemas de programación lineal.

Casi todos los problemas de programación lineal reales se resuelven en una computadora, de manera que nos concentramos en comprender el uso de la programación lineal y la lógica en que se basa. El procedimiento de solución de los códigos de computadora es una forma del **método símplex**, que es un procedimiento algebraico iterativo para resolver problemas de programación lineal.

Método símplex

El análisis gráfico da un panorama de la lógica del método símplex, comenzando con el enfoque en los puntos esquina. Si existe una solución factible para un problema, al menos un punto esquina será óptimo, aun cuando haya múltiples soluciones óptimas. Entonces, el método símplex comienza con un punto esquina inicial y luego evalúa sistemáticamente otros puntos esquina de manera que la función objetivo mejore siempre (o, por lo menos, se quede igual) en cada iteración. En el problema de la compañía Stratton, una mejora sería un incremento en las utilidades. Cuando

ya no existe una mejora posible, se ha encontrado la solución óptima.[2] El método símplex también ayuda a generar la información del análisis de sensibilidad que se desarrolló gráficamente.

Cada punto esquina tiene cuando mucho m variables mayores que 0, donde m es el número de restricciones (sin contar las de no negatividad). Las m variables incluyen las variables de holgura o de superávit, no solo las variables de decisión originales. Por esta propiedad, podemos encontrar un punto esquina al resolver m restricciones simultáneas, donde todas menos m variables se hace iguales a 0. Por ejemplo, el punto B en la figura D.6 tiene tres variables diferentes de cero; x_2, la variable de holgura para empaque y la variable de holgura para la mezcla aditiva. Sus valores se determinan resolviendo las tres restricciones simultáneas, con x_1 y la variable de holgura para extrusión iguales a 0. Después de encontrar este punto esquina, el método símplex aplica información similar a los costos reducidos para decidir qué nuevo punto esquina encontrar que dé un valor de Z todavía mejor. Continúa de esta manera hasta que no hay un punto esquina mejor. El último punto esquina evaluado es el óptimo.

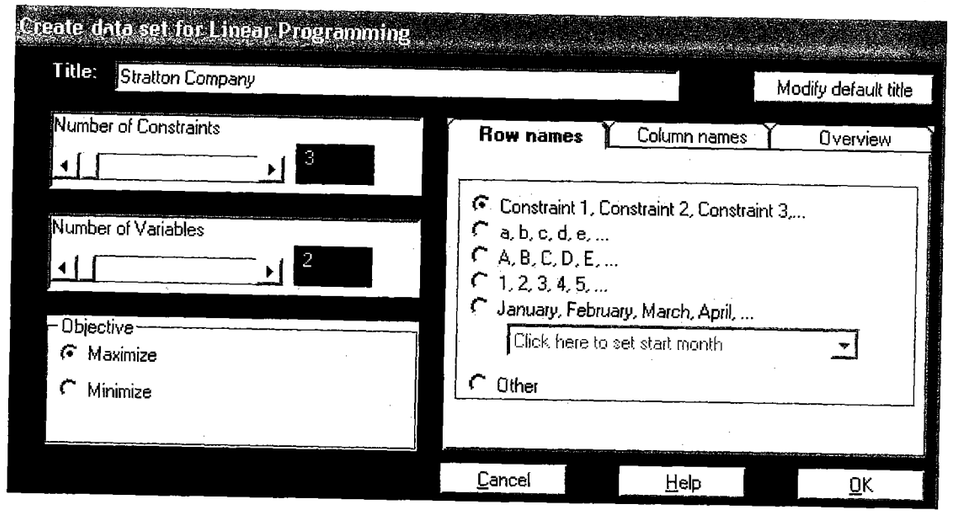
Salida de computadora

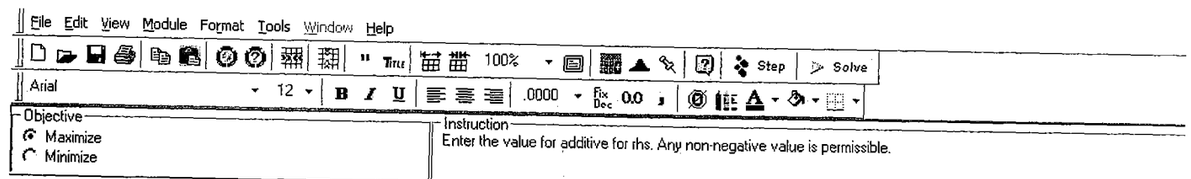
Los programas de computadora reducen de manera drástica la cantidad requerida para resolver problemas de programación lineal. Las capacidades y despliegues de los paquetes de software no son uniformes. Por ejemplo, POM para Windows en MyOMLab puede manejar problemas de programación lineal de tamaño pequeño a mediano. Es sencillo ingresar los datos y las restricciones de no negatividad no tienen que ingresarse. Los Solvers de *Excel* de Microsoft ofrecen una segunda opción para problemas de tamaño similar. Existen múltiples fuentes de software más avanzado para problemas más grandes.

MyOMLab

Mostramos la salida de POM para Windows aplicado a la Stratton Company. La figura D.7 muestra las dos pantallas de *ingreso de datos*. La primera permite ingresar el nombre del pro-

▼ **FIGURA D.7**
Pantallas para ingresar datos





Stratton Company

	X1	X2		RHS	Equation form
Maximize	34	40			Max 34X1 + 40X2
Extrusion	4	6	<=	48	4X1 + 6X2 <= 48
Packaging	2	2	<=	18	2X1 + 2X2 <= 18
Additive	3	1	<=	16	3X1 + X2 <= 0

[2] Para obtener más información de cómo realizar un método símplex en forma manual, véase Render, Barry, Ralph M. Stair y Michael E. Hanna. *Quantitative Analysis for Management*, 11a. ed. o cualquier otro libro actual de ciencias de la administración.

blema, especificar el número de restricciones y variables de decisión y elegir entre maximización y minimización. Después de ingresar estos datos y oprimir el botón de Aceptar, aparece la pantalla de la tabla de datos. Ingrese los parámetros, dé nombres a cada restricción y variables de decisión (como lo desee) y especifique el tipo de relación (≤, =, ≥) para cada restricción. La segunda pantalla en la figura D.7 muestra los datos completos de la tabla. El usuario puede personalizar las etiquetas para las variables de decisión, los valores del lado derecho y las restricciones. En la figura, la primera variable de decisión se etiqueta "X1", los valores del lado derecho "RHS" (por *right-hand side*) y la restricción de extrusión "Extrusion". Las variables de holgura y de superávit se agregan de manera automática cuando se necesitan. Una vez ingresados todos los datos, optima la flecha etiquetada "Solve" en la esquina superior derecha.

La figura D.8 despliega la solución en la pantalla de *Results* (resultados). La salida confirma los cálculos anteriores y el análisis gráfico. De interés especial tenemos el renglón inferior que da los valores óptimos de las variables de decisión ($x_1 = 3$ y $x_2 = 6$) y el valor óptimo de la función objetivo ($342). Los precios sombra para cada restricción aparecen en la última columna.

▼ **FIGURA D.8**
Pantalla de resultados

Stratton Company Solution

	X1	X2		RHS	Shadow Price
Maximize	34	40			
Constraint 1	4	6	<=	48	3
Constraint 2	2	2	<=	18	11
Constraint 3	2	1	<=	16	0
Solution->	3	6		342	

Haga clic en el icono de Window y seleccione la opción en el menú desplegable para cambiar a la pantalla de *Ranging* (pantalla de rangos). Se muestra en la figura D.9. La mitad superior contiene las variables de decisión. De interés especial en este caso son los costos reducidos y las cotas inferior y superior. Las siguientes son dos sugerencias para la interpretación de la información de *costo reducido*:

1. Es relevante solo para una variable de decisión que es cero en la solución óptima. Si la variable de decisión es mayor que 0, ignore la cifra de costo reducido. En el problema de la compañía Stratton las cifras de costo reducido no proporcionan información nueva porque siempre son 0 cuando las variables de decisión tienen valores positivos en la solución óptima. En su lugar busque las cotas inferior y superior sobre los coeficientes de la función objetivo.
2. Nos dice cuánto debe *mejorar* (aumentar para problemas de maximización o disminuir para los de minimización) un coeficiente de una variable de decisión en la función objetivo que es 0 en la solución óptima antes de que esta solución cambie. En ese punto, la variable de decisión asociada al coeficiente entra en la solución óptima con algún nivel positivo. Para conocer la mueva solución óptima, aplica POM para Windows de nuevo con un coeficiente mejorado por un poco más que la cifra de costo reducido.

▼ **FIGURA D.9**
Pantalla de rangos

Variable	Value	Reduced Cost	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
X1	3	0	34	26.6667	40
X2	6	0	40	34	51
Constraint	Shadow Price	Slack/Surplus	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
Constraint 1	3	0	48	40	54
Constraint 2	11	0	18	16	20
Constraint 3	0	4	16	12	Infinity

La mitad superior de esta pantalla también da el *rango de optimalidad*, o la cota inferior y superior sobre la que los coeficientes de la función objetivo pueden variar, sin afectar los valores óptimos de las variables de decisión. Observe que el coeficiente de x_1 en la función objetivo, que actualmente tiene un valor de $34, tiene un rango de optimalidad de $26.6667 a $40. Mientras que el valor Z de la función objetivo cambiará con los cambios en los coeficientes en este rango, los valores óptimos de las variables de decisión permanecen igual.

La mitad inferior de la figura D.9 contiene las restricciones, incluyendo las variables de holgura y superávit y los valores originales del lado derecho. De interés especial son los precios sombra. Las siguientes son dos sugerencias para la interpretación de los *precios sombra*:

1. La cifra es relevante solo para una restricción activa, donde la variable de holgura o superávit es 0 en la solución óptima. Para las restricciones no activas, el precio sombra es 0.
2. El signo del precio sombra puede ser positivo o negativo. El signo depende de si la función objetivo se maximiza o minimiza y de si se trata de una restricción ≤ o ≥. Si simplemente se ignora el signo, el precio sombra se interpreta como el beneficio de incrementar el lado derecho una unidad para una restricción de ≤ y reducirlo una unidad para una restricción de ≥. El beneficio es una reducción en el valor de la función objetivo para los problemas de minimización y un incremento para los de maximización. El precio sombra se puede interpretar como la pérdida marginal (o penalización) en Z que ocurre al hacer más restrictiva una restricción por una unidad.

Entonces, el problema de la compañía Stratton tiene 4 libras de holgura en la mezcla aditiva, por lo que el precio sombra es $0. Empaque, por otra parte, es una restricción activa porque no tiene holgura. El precio sombra de una hora más de empaque es $11.

Por último, la figura D.9 informa las cotas inferior y superior para el *rango de factibilidad*, en el cual los parámetros del lado derecho varían sin cambiar los precios sombra. Por ejemplo, el precio sombra de $11 para empaque es válido en el rango de 16 a 20 horas.

El número de variables en la solución óptima (contando variables de decisión, de holgura y de superávit) que son mayores que 0 nunca exceden el número de restricciones. Este es el caso en el problema de Stratton, con sus tres restricciones (sin contar las restricciones implícitas de no negatividad) y tres variables en la solución óptima (x_1, x_2 y la variable de la mezcla aditiva). En raras ocasiones, el número de variables diferentes de cero en la solución óptima puede ser menor que el número de restricciones, una condición llamada **degeneración**. Cuando ocurre la degeneración, se duda de la información del análisis de sensibilidad. Si desea más información de "qué pasa si" simplemente corra el software de nuevo usando los nuevos valores de los parámetros que desee investigar.

degeneración
Condición que ocurre cuando el número de variables diferentes de cero en la solución óptima es menor que el número de restricciones.

EJEMPLO D.5 **Utilización de los precios sombra para la toma de decisiones**

La compañía Stratton necesita respuestas a tres preguntas importantes: **1.** ¿Incrementar las capacidades en las áreas de extrusión o empaque se compensan si cuesta $8 por hora más que los costos normales ya reflejados en los coeficientes de la función objetivo? **2.** ¿Conviene aumentar la capacidad de empaque si cuesta $6 adicionales por hora? **3.** ¿Conviene comprar más materia prima?

SOLUCIÓN
Expandir la capacidad de extrusión costaría una prima de $8 por hora, pero el precio sombra de esa capacidad es solo $3 por hora. Sin embargo, expandir las horas de empaque cuesta solo $6 por hora más que el precio reflejado en la función objetivo y el precio sombra es $11 por hora. Por último, no conviene comprar más materias primas porque ya existe un superávit de 4 libras; el precio sombra es $0 para ese recurso.

PUNTO DE DECISIÓN
La administración decide aumentar las horas de capacidad de empaque, pero no expandir la capacidad de extrusión o comprar más materia prima.

Método de transporte

Un caso especial de programación lineal es el **problema de transporte**, que se puede representar como una tabla estándar algunas veces llamada *tableau*. La figura D.10 es un ejemplo donde se supone que los renglones son fuentes de suministro y las columnas son demandas. Tanto los suministros como las demandas se desglosan en varios periodos en el futuro. En general, los renglones de la tabla son restricciones lineales que imponen limitaciones de capacidad y las columnas son restricciones lineales que requieren que se satisfaga cierto nivel de demanda. Cada celda en la tabla es una variable de decisión y un costo por unidad se muestra en la esquina superior izquierda de cada celda. La figura D.10 implica 52 variables de decisión (13 renglones × 4 columnas) y cinco restricciones (13 renglones + 4 columnas).

problema de transporte
Caso especial de programación lineal que tiene restricciones lineales para las limitaciones de capacidad y los requerimientos de la demanda.

Los problemas de transporte se pueden formular como un problema de programación lineal y resolverse como es usual. El **método de transporte** simplifica el ingreso de datos y es una técnica de solución más eficiente, pero no proporciona un análisis de sensibilidad como el de la figura D.9. Mostraremos cómo se pueden formular los problemas de planeación de la producción como

método de transporte
Técnica de solución más eficiente que el método símplex para resolver problemas de transporte.

FIGURA D.10 ▶
Ejemplo de la tabla de transporte

Fuente de suministro		Período 1	2	3	4	Capacidad
Período	Inventario inicial					
1	Tipo 1					
	Tipo 2					
	Tipo 3					
2	Tipo 1					
	Tipo 2					
	Tipo 3					
3	Tipo 1					
	Tipo 2					
	Tipo 3					
4	Tipo 1					
	Tipo 2					
	Tipo 3					
Demanda						

problemas de transporte. El capítulo 11, "Decisiones de localización de la cadena de suministro" muestra una aplicación completamente diferente del método de transporte: cómo resolver problemas de localización. Nos enfocamos en la preparación e interpretación del problema, dejando el resto del proceso de solución a un paquete de computadora.

Método de transporte para planeación de la producción

Asegurarse de que la demanda y el suministro están balanceados es crucial para la planeación de ventas y operaciones (PVyO), de manera que no es de sorprender que el método de transporte se pueda aplicar ahí. El *método de transporte para la planeación de la producción* es en especial útil para determinar inventarios anticipados. Así, se relaciona más con los planes de producción de los fabricantes que con los planes de personal de los proveedores de servicio. De hecho, los niveles de la fuerza de trabajo para cada periodo son los datos para el método de transporte en lugar de su salida. Deben evaluarse los diferentes planes de ajuste de la fuerza de trabajo. Se pueden obtener varias soluciones del método de transporte antes de seleccionar el plan final.

La utilización del método de transporte para la planeación de la producción se basa en la suposición de que se dispone de un pronóstico de demanda para cada periodo, junto a un plan de ajuste de la fuerza de trabajo. Los límites de la capacidad sobre el tiempo extra y el uso de subcontratistas también se necesitan para cada periodo. Otra suposición es que todos los costos sean lineales en cuanto a la cantidad de bienes producidos; es decir, un cambio en la cantidad de bienes producidos crea un cambio proporcional en los costos.

Para desarrollar un plan de ventas y operaciones para un fabricante, hacemos lo siguiente:

1. Obtener los pronósticos de demanda para cada periodo que cubrirá el plan de ventas y operaciones e identificar el nivel de inventario inicial disponible que podrá utilizarse para satisfacer la demanda futura.
2. Seleccionar un plan de ajuste de la fuerza de trabajo candidato, utilizando una estrategia de persecución o una estrategia mixta. En especial, los límites de la capacidad de cada alternativa de producción (tiempo normal, tiempo extra y subcontratación) para cada periodo cubierto por el plan.
3. Estimar el costo de mantener inventario y el costo de las alternativas de producción posibles (tiempo normal, tiempo extra y subcontratación). Identificar el costo de tiempo improductivo, si la capacidad ociosa de tiempo normal se paga.

4. Ingresar la información reunida en los pasos 1 a 3 en una rutina de computadora que resuelva el problema de transporte. Después de obtener la solución, se calcula el inventario anticipado e identifican los elementos de costo alto del plan.
5. Repetir el proceso con otros planes para otras capacidades de tiempo normal, tiempo extra y subcontratación hasta encontrar la solución que mejor equilibre el costo y las consideraciones cualitativas. Aunque este proceso involucra prueba y error, el método de transporte da la mejora mezcla de tiempo normal, tiempo extra y subcontratación para cada plan de suministro.

El ejemplo D.6 muestra este enfoque utilizando el módulo de *Método de transporte (Planeación de la producción)* en el paquete de POM para Windows.

EJEMPLO D.6 Preparación de un plan de producción con el método de transporte

La compañía Tru-Rainbow produce una variedad de productos de pintura para ambos usos, comercial y privado. La demanda de pintura es altamente estacional, con un pico en el tercer trimestre. El inventario inicial es 250,000 galones y el inventario terminal debe ser 300,000 galones.

El gerente de manufactura de Tru-Rainbow quiere determinar el mejor plan de producción usando los siguientes requerimientos de demanda y plan de capacidad. Las demandas y capacidades se expresan en miles de galones (en lugar de en el equivalente empleado-periodo). El gerente sabe que el costo del tiempo normal es $1.00 por unidad, el costo del tiempo extra es $1.50 por unidad, el costo de subcontratación es $1.90 por unidad y el costo de mantener inventario es $0.30 por unidad por trimestre. El tiempo improductivo se paga a un costo de $0.50 por unidad. Es menos que el costo del tiempo normal porque solo incluye el costo de mano de obra, no los materiales y gastos generales variables que entran en la producción de la pintura.

	Demanda	Capacidad de tiempo normal	Capacidad de tiempo extra	Capacidad de subcontratación
Trimestre 1	300	450	90	200
Trimestre 2	850	450	90	200
Trimestre 3	1,500	750	150	200
Trimestre 4	350	450	90	200
Totales	3,000	2,100	420	800

Las siguientes restricciones se aplican:

a) El tiempo extra máximo permitido en cualquier trimestre es 20% de la capacidad de tiempo normal en ese trimestre.

b) El subcontratista puede surtir un máximo de 200,000 galones en cualquier trimestre. La producción se puede subcontratar en cualquier periodo y el exceso se mantiene en inventario para un periodo futuro para evitar faltantes.

c) No se admiten órdenes atrasadas o faltantes.

SOLUCIÓN

La figura D.11 muestra la pantalla de POM para Windows de ingreso de datos. La figura D.12 muestra la pantalla de POM para Windows que despliega la solución óptima para este plan de ajuste de la fuerza de trabajo en particular. Se ve parecido a la tabla mostrada antes, pero con una excepción. La demanda para el trimestre 4 es $650,000 galones en lugar de la demanda pronosticada de 350,000 galones. Los números más grandes reflejan el deseo del gerente de tener un inventario final en el trimestre 4 de 300,000 galones. Algunos puntos que notar en las figuras D.11 y D.12 incluyen lo siguiente:

▼ FIGURA D.11
Pantallas de POM para Windows para la compañía Tru-Rainbow

Period	Demand	Regular tm Capacity	Overtime Capacity	Subcontract Capacity		Unit costs	Value
Quarter 1	300	450	90	200		Regular time	1
Quarter 2	850	450	90	200		Overtime	1.5
Quarter 3	1500	750	150	200		Subcontracting	1.9
Quarter 4	650	450	90	200		Holding cost	.3
						Lost sales cost	Not allowed
						Idle RT Capacity	.5
						Initial Inventory	250

Optimal cost = $4,010	Quarter 1	Quarter 2	Quarter 3	Quarter 4	Excess Capacity	Capacity
Init Inventory	230		20			250
Quarter 1 RegTime	50	400				450
Quarter 1 Overtime			90			90
Quarter 1 Subcontract	20				180	200
Quarter 2 RegTime		450				450
Quarter 2 Overtime			90			90
Quarter 2 Subcontract			200			200
Quarter 3 RegTime			750			750
Quarter 3 Overtime			150			150
Quarter 3 Subcontract			200			200
Quarter 4 RegTime				450		450
Quarter 4 Overtime				90		90
Quarter 4 Subcontract				110	90	200
Demand	300	850	1500	650	270	

▲ **FIGURA D.12**
Pantalla de solución del plan de producción prospectivo para la compañía Tru-Rainbow

1. Hay un renglón en la figura D.12 para cada alternativa de suministro (en lugar de la fuente de suministro de la figura D.10) trimestre por trimestre. La última columna en cada renglón indica la cantidad máxima que se utiliza para satisfacer la demanda. El primer renglón es el inventario inicial disponible y los renglones que siguen son de tiempo normal, tiempo extra y subcontratación de la producción en cada uno de los cuatro trimestres. El inventario inicial se puede usar para satisfacer la demanda en cualquiera de los cuatro trimestres. El segundo renglón (tiempo normal de producción en el periodo 1) también sirve para satisfacer la demanda en cualquiera de los cuatro periodos que cubre el plan y así sucesivamente. Los números en la última columna dan la capacidad máxima que está disponible para las alternativas de suministro. Por ejemplo, la capacidad para el trimestre 3 aumenta de los 450,000 galones usuales a 750,000 galones, para ayudar con la demanda pico pronosticada como 1,500,000 galones.
2. Una columna indica cada trimestre de demanda futura y el último renglón da su pronóstico de demanda. La demanda para el cuarto trimestre es 650 unidades, porque incluye la cantidad deseada de inventario final. La columna de capacidad en exceso muestra el costo de la capacidad no usada y el número en el último renglón (270 unidades) es la cantidad en la que la demanda total excede a la capacidad. Los costos unitarios para la capacidad no utilizada son 0, excepto por el costo de $0.50 por unidad de capacidad de tiempo normal que no se usa.
3. Los números en las otras celdas (excluyendo las celdas en el último renglón o la última columna) muestran el costo de producir una unidad en un periodo y, en algunos casos, el de mantener una unidad en inventario para su venta futura. Estos números corresponden a los costos en las esquinas superiores derechas de las celdas en la figura D.10. Por ejemplo, el costo por unidad de producción en tiempo normal en el trimestre 1 es $1.00 por galón si se usa para cumplir la demanda en el trimestre 1. El costo se encuentra en el renglón 2 de la tabla. Sin embargo, si se produce para cumplir la demanda del trimestre 2, el costo aumenta a $1.30 (o $1.00 + $0.30) porque debe guardarse la unidad en inventario un trimestre. Satisfacer una unidad de demanda en el trimestre 3 produciéndola en el trimestre 1 en tiempo normal y manteniéndola en inventario dos trimestres cuesta $1.60 o [$1.00 + (2 × $0.30)] y así sucesivamente. Un enfoque similar se usa para los costos de tiempo extra y subcontratación.
4. Las celdas en la parte inferior izquierda de la tabla con un costo de $9,999 están asociadas con las órdenes atrasadas (o producir en un periodo para satisfacer la demanda en un periodo después del que se necesita). En este caso no permitimos las órdenes atrasadas asignando a su costo un número arbitrariamente grande, esto es $9,999 por unidad. Si los costos de las órdenes atrasadas son tan grandes, el método de transporte intentará evitarlas porque busca una solución que minimice el costo total. Si eso no es posible, aumentamos el plan de personal y las capacidades de tiempo extra y subcontratación.
5. Las alternativas menos costosas son aquellas en las que la salida se produce y se vende en el mismo periodo. Por ejemplo, el costo de la producción en tiempo extra en el trimestre es solo $1.50 por galón si se designa para la demanda del trimestre 2 (renglón 6, columna 2). El costo aumenta a $2.10 si se designa para la demanda del trimestre 4. Sin embargo, quizá no siempre podamos evitar alternativas que crean inventario debido a las restricciones de capacidad.
6. Por último, el costo de mantener por unidad para el inventario inicial en el periodo 1 es 0 porque es una función de las decisiones previas de producción-planeación.

El primer renglón de la figura D.12 muestra que se utilizan 230 unidades del inventario inicial para ayudar a satisfacer la demanda del trimestre 1. Las 20 unidades restantes en el primer renglón se asignan para ayudar con la demanda en el trimestre 3. La suma de las asignaciones en el renglón 1 para los cuatro trimestres (230 + 0 + 20 + 0) no excede la capacidad máxima de 250, dada en la columna de la derecha. Con el método de transporte, el resultado debe ocurrir en cada renglón. Dada la columna de "capacidad en exceso", cualquier insuficiencia es capacidad no utilizada. En este caso, el costo del tiempo improductivo de $0.50 por unidad era suficientemente grande que ninguna capacidad de tiempo normal se quedó sin usar,

De manera similar, la suma de las asignaciones en cada columna debe ser igual a la demanda total para el trimestre. Por ejemplo, la demanda de trimestre 1 se surte con 230 unidades del inventario inicial, 50 unidades de la producción normal del trimestre 1 y 20 unidades de producción subcontratada el trimestre 1. La suma es igual a la demanda pronosticada de 300 unidades.

Para interpretar mejor la solución, podemos convertir la figura D.12 en la siguiente tabla. Por ejemplo, la producción en tiempo normal en el trimestre 1 es 450,000 galones (50,000 galones para ayudar a satisfacer la demanda del trimestre 1 y 400,000 galones para ayudar a satisfacer la demanda del trimestre 2).

El inventario anticipado mantenido hasta el final de cada trimestre se obtiene en la última columna. Para cualquier trimestre, es el inventario inicial al principio del trimestre más el suministro total (producción de tiempo normal, tiempo extra y subcontratación) menos la demanda. Por ejemplo, para el trimestre 1 el inventario inicial (250,000) más el total de producción y subcontratación (560,000) menos la demanda del trimestre 1 (300,000) da un inventario final de 510,000, que también es el inventario inicial del trimestre 2.

Trimestre	Producción tiempo normal	Producción tiempo extra	Subcontratación	Demanda total	Inventario anticipado
1	450	90	20	560	250 + 560 – 300 = 510
2	450	90	200	740	510 + 740 – 850 = 400
3	750	150	200	1,100	400 + 1,100 – 1,500 = 0
4	450	90	110	650	0 + 650 – 350 = 300
Totales	2,100	420	530	3,050	

Nota: El inventario anticipado es la cantidad al final de cada trimestre, donde: inventario inicial + producción total – demanda real = inventario final.

El desglose de costos se encuentra multiplicando la asignación en cada celda de la figura D.12 por el costo por unidad en esa celda en la figura D.11*b*). Con el cálculo del costo columna por columna (también se puede hacer renglón por renglón) se obtiene el costo total de $4,010,000 o $4,010 × 1,000.

Cálculos de costo por columna

Trimestre 1	230($0) + 50($1.00) + 20($1.90)	= $ 88
Trimestre 2	400($1.30) + 450($1.00)	= 970
Trimestre 3	20($0.60) + 90($2.10) + 90($1.80) + 200($2.20) + 750($1.00) + 150($1.50) + 200($1.90)	= 2,158
Trimestre 4	450($1.00) + 90($1.50) + 110($1.90)	= 794
		Total = $4,010

PUNTO DE DECISIÓN

Este plan requiere demasiado tiempo extra y subcontratación, y el costo del inventario anticipado es sustancial. El administrador decide buscar un mejor plan de capacidad —con incrementos en la fuerza de trabajo para impulsar la capacidad de producción en tiempo normal— que pueda disminuir los costos de producción, incluso lo suficientemente bajos para compensar los costos de capacidad añadidos.

Aplicaciones

Muchos problemas de administración de operaciones y la cadena de suministro, y otras áreas funcionales, llevan en sí a la programación lineal y al método de transporte. Además de los ejemplos presentados, existen aplicaciones en el proceso administrativo, la asignación de envíos, el control de inventarios y la programación de turnos. Los problemas de revisión al final de este suplemento y al final de los capítulos anteriores ilustran muchos de estos tipos de problemas. Una vez que el tomador de decisiones sabe cómo formular un problema en general, él o ella pueden adaptarlo a la situación presente.

REPASO DE LAS METAS DE APRENDIZAJE

1. **Describir la formulación de modelos para diferentes problemas.** Revise la sección "Formulación de un problema", pp. 588-590, y ponga atención en el ejemplo D.1.
2. **Mostrar el análisis gráfico y las soluciones para problemas de dos variables.** Véase la sección "Análisis gráfico", pp. 590-596, en cuanto graficar las restricciones, identificar la región factible, trazar la función objetivo y encontrar la solución.
3. **Definir las variables de holgura, las variables de superávit y el análisis de sensibilidad.** Las secciones "Variables de holgura y de superávit" y "Análisis de sensibilidad" se encuentran en las páginas 595-596.
4. **Interpretar la salida de computadora de una solución de programación lineal.** La salida de computadora de POM para Windows se despliega e interpreta en las páginas 597-599. La información clave se relaciona con los valores óptimos de las variables de decisión, el valor de la función objetivo, las variables de holgura y de superávit. Los precios sombra, costos reducidos, cotas superior e inferior pueden constituir información útil para el análisis de sensibilidad.
5. **Aplicar el método de transporte a problemas del plan de ventas y operaciones (PVyO).** La sección "Método de transporte para la planeación de la producción", pp. 600-603, da una descripción paso a paso de cómo establecer el problema como un problema de transporte y luego cómo interpretar la salida de POM para Windows. Dedique su atención a las figuras D.11 y D.12. El ejemplo D.6 y el problema resuelto 2 también son útiles.

MyOMLab le ayuda a desarrollar habilidades analíticas y evalúa su avance con múltiples problemas de análisis gráfico, variables de holgura y superávit, solución óptima, solución de computadora, precios sombra, método de transporte, planes de producción y programación de turnos.

Recursos de MyOMLab	Títulos	Vínculos con el libro
Ejercicio de modelo activo	D.1 Gráfica de programación lineal (LP)	Análisis gráfico, problema resuelto 1 (p. 605)
Tutores de OM Explorer	D.1 Graficar las restricciones D.2 Encontrar una solución óptima D.3 Encontrar la holgura en la solución óptima D.4 Solución gráfica y algebraica	Graficar las restricciones; figura D.1 (p. 591); ejemplo D.2 (pp. 590-591); figura D.2 (p. 591); ejemplo D.3 (pp. 592-593) Graficar la recta de la función objetivo: figuras D.5 y D.6 (p. 594); Encontrar la solución visual; Encontrar la solución algebraica; ejemplo D.4 (p. 595) Variables de holgura y superávit; problema resuelto 1 (p. 605) Análisis gráfico, problema resuelto 1 (p. 605)
POM para Windows	Resultados de programación lineal Rangos Gráfica Método de transporte (Planeación de la producción)	Solución de computadora Salida de la computadora; figuras D.7, D.8 y D.9 (pp. 597-598) Análisis gráfico Método de transporte para producción; ejemplo D.6; figuras D.11, D.12 y D.14 (pp. 601, 602 y 606); problema resuelto 2 (pp. 605-606)
Tours virtuales	Virgin Atlantic Nike Purina	Formulación de un problema Formulación de un problema Formulación de un problema
Suplementos de MyOMLab	F. Análisis financiero	Suplemento F de MyOMLab
Ejercicios en Internet	Whirlpool Marriott Starbucks	Formulación de un problema Formulación de un problema Formulación de un problema
Ecuaciones clave		
Biblioteca de imágenes		

Términos clave

certidumbre 588
costo reducido 596
degeneración 599
función objetivo 587
linealidad 588
método de transporte 599
método gráfico de programación lineal 590
método símplex 596
holgura 595
no negatividad 588
parámetro 588
precio sombra 596
problema de mezcla de productos 588
problema de transporte 599
programación lineal 587
punto esquina 593
rango de factibilidad 596
rango de optimalidad 596
región factible 588
restricción activa 595
restricciones 588
superávit 595
variables de decisión 587

Problema resuelto 1

MyOMLab
El tutor D.4 en MyOMLab proporciona un ejemplo práctico para encontrar la gráfica y la solución algebraica.

O'Connel Airlines está considerando el servicio aéreo desde su hangar de operaciones en Cicely, Alaska a Roma, Wisconsin y Seattle, Washington. O'Connel tiene una sala en el Aeropuerto de Cicely, que opera 12 horas al día. Cada vuelo requiere una hora de tiempo de sala. Cada vuelo a Roma consume 15 horas del tiempo de la tripulación y se espera que produzca una ganancia de $2,500. El servicio a Seattle utiliza 10 horas del tiempo de la tripulación por vuelo y da una ganancia de $2,000 por vuelo. La mano de obra de la tripulación se limita a 150 horas por día. El mercado del servicio a Roma está limitado a nueve vuelos por día.

a) Utilice el método gráfico de programación lineal para maximizar las ganancias de O'Connel Airlines.

b) Identifique las variables positivas de holgura y superávit, si las hay.

SOLUCIÓN

a) La función objetivo es maximizar las ganancias, Z:

$$\text{Maximizar: } \$2{,}500x_1 + \$2{,}000x_2 = Z$$

donde:

x_1 = número de vuelos por día a Roma, Wisconsin
x_2 = número de vuelos por día a Seattle, Washington

Las restricciones son:

$$x_1 + x_2 \le 12 \text{ (capacidad de la sala)}$$
$$15x_1 + 10x_2 \le 150 \text{ (mano de obra)}$$
$$x_1 \le 9 \text{ (mercado)}$$
$$x_1 \ge 0 \text{ y } x_2 \ge 0$$

Un dibujo cuidadoso de las líneas de ganancia paralelas a las mostradas en la figura D.13 indicará que el punto D es la solución óptima. Es la intersección de las restricciones de mano de obra y capacidad de la sala. La solución algebraica es:

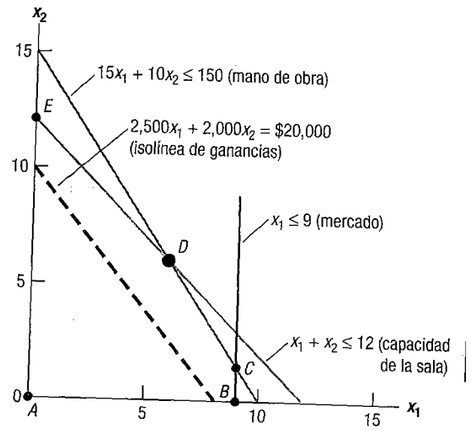
$$15x_1 + 10x_2 = 150 \text{ (mano de obra)}$$
$$-10x_1 - 10x_2 = -120 \text{ (sala} \times -10)$$
$$5x_1 + 0x_2 = 30$$
$$x_1 = 6$$
$$6 + x_2 = 12 \text{ (sala)}$$
$$x_2 = 6$$

La ganancia máxima se obtiene al hacer seis vuelos a Roma y seis vuelos a Seattle:

$$\$2{,}500(6) - \$2{,}000(6) = \$27{,}000$$

a) La restricción del mercado tiene tres unidades de holgura, de manera que la demanda de vuelos a Roma no está satisfecha:

$$x_1 \le 9$$
$$x_1 + s_3 = 9$$
$$6 + s_3 = 9$$
$$s_3 = 3$$



▼ **FIGURA D.13**
Solución gráfica para O'Connel Airlines

Problema resuelto 2

Arctic Air Company produce aires acondicionados residenciales. El gerente de manufactura quiere desarrollar un plan de ventas y operaciones para el siguiente año con base en los siguientes datos de demanda y capacidad (en cientos de unidades de producto):

	Demanda	Capacidad de tiempo normal	Capacidad de tiempo extra	Capacidad de subcontratación
Ene.-feb. (1)	50	65	13	10
Mar.-abr. (2)	60	65	13	10
May.-jun. (3)	90	65	13	10
Jul.-ago. (4)	120	80	16	10
Sep.-oct. (5)	70	80	16	10
Nov.-dic. (6)	40	65	13	10
Totales	430	420	84	60

El tiempo improductivo no se paga y no hay costo asociado con el tiempo extra o la subcontratación que no se utiliza. Producir una unidad de aire acondicionado en tiempo normal cuesta $1,000, incluyendo $300 de mano de obra. Producir una unidad en tiempo extra cuesta $1,150. Un subcontratista puede producir una unidad según las especificaciones de Arctic Air por $1,250. Mantener una unidad de aire acondicionado en inventario cuesta $60 por cada periodo de dos meses y ahora se tiene 200 unidades almacenadas. El plan pide 400 unidades en almacén al final del periodo 6. No se permiten órdenes atrasadas. Utilice el método de transporte para desarrollar un plan que minimice los costos.

SOLUCIÓN

La siguiente tabla identifica los planes de producción e inventario óptimos. La figura D.14 muestra la tabla que corresponde a esta solución. Se utilizó un costo arbitrariamente grande ($99,999 por periodo) para las órdenes atrasadas o pendientes para eliminarlas. De nuevo, todas las cantidades de producción están en cientos de unidades. Note que la demanda en el periodo 6 es 4,400. Esa cantidad es la demanda del periodo 6 más el inventario final deseado de 400. El inventario anticipado se mide como la cantidad al final de cada periodo. Los cálculos de costo se basan en la suposición de que no se paga a los trabajadores el tiempo improductivo o se les asigna trabajo productivo en otra parte de la organización cuando no se requiere para este trabajo.

FIGURA D.14 ▶
Tabla del plan óptimo de producción e inventario

Alternativas		Periodo 1	2	3	4	5	6	Capacidad no utilizada	Capacidad total
Periodo	Inventario inicial	0	60	120	180 **2**	240	300	**0**	2
1	Tiempo normal	1,000 **50**	1,060 **15**	1,120	1,180	1,240	1,300	**0**	65
	Tiempo extra	1,150	1,210	1,270	1,330	1,390	1,450	**13**	13
	Subcontratación	1,250	1,310	1,370	1,430	1,490	1,550	**10**	10
2	Tiempo normal	99,999	1,000 **41**	1,060 **12**	1,120 **12**	1,180	1,240	**0**	65
	Tiempo extra	99,999	1,150 **4**	1,210	1,270	1,330	1,390	**9**	13
	Subcontratación	99,999	1,250	1,310	1,370	1,430	1,490	**10**	10
3	Tiempo normal	99,999	99,999	1,000 **65**	1,060	1,120	1,180	**0**	65
	Tiempo extra	99,999	99,999	1,150 **13**	1,210	1,270	1,330	**0**	13
	Subcontratación	99,999	99,999	1,250	1,310	1,370	1,430	**10**	10
4	Tiempo normal	99,999	99,999	99,999	1,000 **80**	1,060	1,120	**0**	80
	Tiempo extra	99,999	99,999	99,999	1,150 **16**	1,210	1,270	**0**	16
	Subcontratación	99,999	99,999	99,999	1,250 **10**	1,310	1,370	**0**	10
5	Tiempo normal	99,999	99,999	99,999	99,999	1,000 **70**	1,060	**10**	80
	Tiempo extra	99,999	99,999	99,999	99,999	1,150	1,210	**16**	16
	Subcontratación	99,999	99,999	99,999	99,999	1,250	1,310	**10**	10
6	Tiempo normal	99,999	99,999	99,999	99,999	99,999	1,000 **44**	**21**	65
	Tiempo extra	99,999	99,999	99,999	99,999	99,999	1,150	**13**	13
	Subcontratación	99,999	99,999	99,999	99,999	99,999	1,250	**10**	10
Demanda		50	60	90	120	70	44	132	566

Un aspecto desconcertante de esta solución es que asigna el inventario inicial de 200 unidades para cumplir la demanda del periodo 4 y no del periodo 1. La explicación es que existen múltiples soluciones óptimas y esta es *solo una* de ellas. Sin embargo, *todas las soluciones* dan el *mismo* plan de producción e inventario anticipado derivado como sigue:

PLAN DE PRODUCCIÓN

Periodo	Producción en tiempo normal	Producción en tiempo extra	Subcontratación	Total
1	6,500	—	—	6,500
2	6,500	400	—	6,900
3	6,500	1,300	—	7,800
4	8,000	1,600	1,000	10,600
5	7,000	—	—	7,000
6	4,400	—	—	4,400

INVENTARIO ANTICIPADO

Periodo	Inventario inicial más producción total *menos* demanda	Inventario anticipado *(final)*
1	200 + 6,500 – 5,000	1,700
2	1,700 + 6,900 – 6,000	2,600
3	2,600 + 7,800 – 9,000	1,400
4	1,400 + 10,600 – 12,000	0
5	0 + 7,000 – 7,000	0
6	0 + 4,400 – 4,000	400

Preguntas para análisis

1. Un problema específico de programación lineal de maximización tiene las siguientes restricciones de menor o igual: **1.** materias primas, **2.** horas de mano de obra y **3.** espacio de almacén. La solución óptima ocurre en la intersección de las restricciones de materia prima y horas de mano de obra, de modo que esas restricciones son inactivas. La administración está considerando si debe autorizar tiempo extra. ¿Qué información útil puede proporcionar la solución de programación lineal a la administración en su toma de decisiones? Suponga que ahora se dispone de un almacén con una renta de ganga. ¿Qué necesita saber la administración para decidir si rentar o no el almacén? ¿Cómo le ayudaría el modelo de programación lineal?
2. La programación lineal y el método de transporte prometen una solución óptima. Sin embargo, algunos administradores prudentes, después de ver los resultados óptimos *como los de la figura D.8 o D.12*, pueden decidir implementar planes diferentes. ¿Cómo explica esta toma de decisiones?

Problemas

El OM Explorer y POM para Windows están disponibles para todos los estudiantes de la décima edición de este libro. Vaya a **www.pearsonhighered.com/krajewski** para bajar estos paquetes de computadora. Verifique con su instructor la mejor manera de usar estos recursos. Para problemas de programación lineal con más de dos variables y para problemas de transporte, utilice POM para Windows para resolver sus modelos formulados. Se hace hincapié en estos casos en el modelado de problemas y la interpretación de la salida de computadora.

1. La compañía Sports Shoe fabrica zapatos de futbol y básquetbol. El gerente de marketing debe decidir la mejor manera de gastar los recursos de publicidad. Cada equipo de futbol patrocinado requiere 120 pares de zapatos. Cada equipo de básquetbol patrocinado requiere 32 pares de zapatos. Los entrenadores de futbol reciben $300,000 por el patrocinio de zapatos y los entrenadores de básquetbol reciben $1,000,000. El presupuesto promocional del gerente es $30,000,000. La compañía tiene un suministro limitado (4 litros o 4,000 centímetros cúbicos) de *flubber*, un raro y costoso compuesto utilizado en los zapatos deportivos. Cada par de zapatos requiere 3 cc de *flubber* y cada par de zapatos de básquetbol requiere 1 cc. El gerente quiere patrocinar tantos equipos de básquetbol y futbol como le permita su presupuesto.
   a) Desarrolle un conjunto de ecuaciones lineales que describan la función objetivo y las restricciones.

b) Utilice el análisis gráfico para encontrar una solución visual.

c) ¿Cuál es el número máximo de cada tipo de equipo que la compañía puede patrocinar?

2. Un estudiante de negocios en Nowledge College debe completar un total de 65 cursos para graduarse. El número de cursos de negocios debe ser mayor o igual que 23. El número de cursos, no de negocios, debe ser mayor o igual que 20. El curso de negocios promedio requiere un libro de texto que cuesta entre $60 y requiere 120 horas de estudio. Los cursos que no son de negocios requieren un libro que cuesta $24 y 200 horas de estudio. El estudiante tiene $3,000 para gastar en libros.

a) Desarrolle un conjunto de ecuaciones lineales que describan la función objetivo y las restricciones.

b) Utilice el análisis gráfico para encontrar una solución visual.

c) ¿Qué combinación de cursos de negocios y no de negocios minimiza las horas totales de estudio?

d) Identifique las variables de holgura y superávit.

3. En el problema 2, suponga que la función objetivo es minimizar el costo de los libros y que el tiempo total para estudio del estudiante es 12,600 horas.

a) Utilice el análisis gráfico para determinar la combinación de cursos que minimice el costo total de los libros.

b) Identifique las variables de holgura y superávit.

4. La cervecería pequeña Mile-High hace cerveza clara y oscura. Mile High tiene un suministro limitado de cebada, capacidad para embotellar limitada y un mercado para la cerveza clara limitado. Las ganancias son $0.20 por botella de cerveza clara y $0.50 por botella de cerveza oscura.

a) La siguiente tabla muestra la disponibilidad de recursos en la cervecería Mile-High. Utilice el método gráfico de programación lineal para maximizar las ganancias. ¿Cuántas botellas de cada producto debe producir al mes?

	PRODUCTO		
Recurso	**Cerveza clara (x_1)**	**Cerveza oscura (x_2)**	**Disponibilidad de recursos (por mes)**
Cebada	0.1 gramos	0.6 gramos	2;000 gramos
Embotellado	1 botella	1 botella	6,000 gramos
Mercado	1 botella	—	4,000 gramos

b) Identifique las restricciones con holgura o superávit.

5. El gerente de planta de una fábrica de tubería de plástico tiene la oportunidad de utilizar diferentes rutas para un tipo particular de tubería. La ruta 1 utiliza la extrusión A y la ruta 2, la extrusión B. Ambas rutas requieren el mismo proceso de fusión. La siguiente tabla muestra los requerimientos de tiempo y las capacidades de estos procesos:

	REQUERIMIENTOS DE TIEMPO (H/100 PIES)		
Proceso	**Ruta 1**	**Ruta 2**	**Capacidad (h)**
Fusión	1	1	45
Extrusión A	3	0	90
Extrusión B	0	1	160

Cada 100 pies de tubería procesada en la ruta 1 utiliza 5 libras de materia prima, mientras que cada 100 pies de tubería procesada en la ruta 2 utiliza solo 4 libras. Esta diferencia tiene el resultado de tasas de desperdicio diferentes en las máquinas de extrusión. En consecuencia, la ganancia por 100 pies de tubería procesada en la ruta 1 es $60 y en la ruta 2 es $80. Se dispone de un total de 200 libras de materia prima.

a) Desarrolle un conjunto de ecuaciones lineales para describir la función objetivo y las restricciones.

b) Utilice el análisis gráfico para encontrar una solución visual.

c) ¿Cuál es la ganancia máxima?

6. Un fabricante de colorantes para textiles puede usar dos rutas de procesos para un tipo específico de colorante. La ruta 1 utiliza la prensa de secado A y la ruta 2, la prensa de secado B. Ambas rutas requieren la misma tina de mezclado para los químicos del colorante antes de teñir. La siguiente tabla muestra los requerimientos de tiempo y las capacidades de este proceso:

	REQUERIMIENTOS DE TIEMPO (H/K)		
Proceso	**Ruta 1**	**Ruta 2**	**Capacidad (h)**
Mezcla	2	2	54
Secado A	6	0	120
Secado B	0	8	180

Cada kilogramo de colorante procesado en la ruta 1 utiliza 20 litros de químicos, mientras que cada kilogramo de colorante procesado en la ruta 2 usa solo 15 litros. Las diferencias son resultado de las tasas de rendimiento de las prensas de secado. En consecuencia, la ganancia por kilogramo procesado en la ruta 1 es $50 y en la ruta 2 es $65. Se dispone de un total de 450 litros de químicos de entrada.

a) Escriba las restricciones y la función objetivo para maximizar las ganancias.

b) Utilice el método gráfico de programación lineal para encontrar la solución óptima.

c) Identifique cualquier restricción con holgura o superávit.

7. La compañía Trim-Look hace varias líneas de faldas, vestidos y sacos sport. Recientemente, un consultor sugirió que la compañía reevaluara su línea South Islander y asignara sus recursos a los productos que maximizan la contribución a la ganancia y los gastos generales. Cada producto requiere la misma tela de poliéster y debe pasar por los departamentos de corte y costura. Los siguientes datos se recolectaron en el estudio:

	TIEMPO DE PROCESO (H)		
Producto	**Corte**	**Costura**	**Material (yd)**
Falda	1	1	1
Vestido	3	4	1
Saco sport	4	6	4

El departamento de corte tiene 100 horas de capacidad, costura tiene 180 horas de capacidad y se dispone de 60 yardas de material. Cada falda contribuye $5 a la ganancia y gastos generales, cada vestido, $17 y cada saco sport, $30.

a) Especifique la función objetivo y las restricciones para este problema.

b) Utilice un paquete de computadora como POM para Windows para resolver el problema.

8. Considere el problema 7 un poco más.

a) ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por una hora adicional de tiempo de corte, por una hora adicional de tiempo de costura y por una yarda más de material? Explique su respuesta a cada pregunta.

b) Determine el rango de los valores del lado derecho en el que los precios sombra son válidos para la restricción de costura y para la restricción de material.

9. Polly Astaire hace ropa fina para hombres grandes y altos. Hace unos años, Astaire entró al mercado de ropa deportiva con la línea Sunset de pantalones cortos, pants y camisetas. La administración quiere hacer la cantidad de cada producto que maximice la ganancia. Cada tipo de ropa tiene una ruta por dos departamentos, A y B. Los datos relevantes para cada producto son los siguientes:

	TIEMPO DE PROCESO (H)		
Producto	**Departamento A**	**Departamento B**	**Material (yd)**
Camisetas	2	1	2
Pantalones cortos	2	3	1
Pants	3	4	4

El departamento A tiene 120 horas de capacidad, el departamento B tiene 160 horas de capacidad y se dispone de 90 yardas de material. Cada camiseta contribuye $10 a la ganancia y gastos generales; cada par de pantalones cortos, $10 y cada par de pants, $23.

a) Especifique la función objetivo y las restricciones para este problema.

b) Utilice un paquete de computadora como POM para Windows para resolver el problema.

c) ¿Cuánto estará dispuesta a pagar Astaire por una hora adicional de capacidad del departamento A? ¿Cuánto estaría dispuesta a pagar por una hora adicional de capacidad en el departamento B? ¿Para qué rango de valores del lado derecho son válidos estos precios sombra?

10. La compañía Butterfield fabrica una gran variedad de cuchillos. Cada cuchillo se procesa en cuatro máquinas. Los tiempos de procesos requeridos son los siguientes. Las capacidades de las máquinas (en horas) son 1,500 para la máquina 1; 1,400 para la máquina 2; 1,600 para la máquina 3 y 1,500 para la máquina 4.

	TIEMPO DE PROCESO (H)			
Cuchillo	**Máquina 1**	**Máquina 2**	**Máquina 3**	**Máquina 4**
A	0.05	0.10	0.15	0.05
B	0.15	0.10	0.05	0.05
C	0.20	0.05	0.10	0.20
D	0.15	0.10	0.10	0.10
E	0.05	0.10	0.10	0.05

Cada producto contiene una cantidad diferente de dos materias primas. La materia prima 1 cuesta $0.50 por onza y la materia prima 2 cuesta $1.50 por onza. Hay 75,000 onzas de la materia prima 1 y 100,000 onzas de la materia prima 2 disponibles.

	REQUERIMIENTOS (OZ/UNIDAD)		
Cuchillo	**Materia prima 1**	**Materia prima 2**	**Precio de venta ($/unidad)**
A	4	2	15.00
B	6	8	25.50
C	1	3	14.00
D	2	5	19.50
E	6	10	27.00

a) Si el objetivo es maximizar la ganancia, especifique la función objetivo y las restricciones de este problema. Suponga que los costos de mano de obra son despreciables.

b) Resuelva el problema con un paquete de computadora como POM para Windows.

11. La corporación Nutmeg fabrica tres productos, cada uno en una lata de 1 libra: mezcla de almendras, mezcla de nueces y mezcla ahorro. Se utilizan tres tipos de productos: almendras, nueces y cacahuates. Nutmeg tiene ahora 350 libras de almendras, 150 libras de nueces y 1,000 libras de cacahuates. Cada producto de Nutmeg contiene cierto porcentaje de cada tipo de nuez, como se muestra en la siguiente tabla. La tabla muestra también el ingreso por lata y el costo por libra por la compra de las semillas.

	PORCENTAJE DE REQUERIMIENTOS POR LATA			
	Almendras	**Nueces**	**Cacahuates**	**Ingreso por lata**
Mezcla de almendras	80%	20%	0%	$8.00
Mezcla de nueces	20%	80%	0%	$10.00
Mezcla ahorro	10%	10%	80%	$4.50
Costo por libra	$4.50	$6.00	$3.00	

a) Dado el suministro actual de semillas de Nutmeg, ¿cuántas latas de cada producto debe producir para maximizar el ingreso?

b) ¿La solución que desarrolló en el inciso *a)* cambia si Nutmeg está interesada en maximizar la contribución marginal (definida como ingreso por unidad –costo de materia prima)?

c) Si hay disponibles 50 libras adicionales de nueces, ¿cómo cambiaría su solución a la maximización de la contribución marginal en el inciso *b)*?

12. Un problema que muchas veces preocupa a los administradores en la industria del procesamiento es el mezclado. La corporación Nutmeg, del problema 11, está considerando un nuevo producto que intenta vender a adultos activos y preocupados por la salud. Este nuevo producto será un paquete de semillas que conforma requerimientos específicos de salud. Primero el paquete de cuatro

onzas puede contener cuando mucho 720 calorías. Debe entregar al menos 20 gramos de proteína., Finalmente, el paquete debe proporcionar al menos 15% del requerimiento diario de adultos (RDA) de calcio y 20% del RDA de hierro. Nutmeg desea usar solo almendras, nueces y cacahuates en este nuevo producto. La siguiente tabla proporciona los datos nutricionales de cada uno de los tres ingredientes y su costo para Nutmeg.

Ingredientes	Calorías por onza	Gramos por onza	Porcentaje de calcio por onza	Porcentaje de hierro por onza	Costo por onza
Almendras	180	6	8%	6%	$0.28
Nueces	190	4	2%	6%	$0.38
Cacahuates	170	7	0%	4%	$0.12

a) Utilice programación lineal para encontrar el costo minimizando el número de onzas de cada ingrediente que Nutmeg debe usar en cada paquete de cuatro onzas. ¿Cuál es el costo de la materia prima por paquete?

b) El departamento de marketing en Nutmeg insiste en que cada paquete debe contener al menos ½ onza de nueces y no más de una onza de cacahuates. ¿La solución desarrollada en el inciso *a)* satisface estas nuevas restricciones? Si no, utilice programación lineal para encontrar una solución que incluya estos requerimientos de marketing. ¿Cuál es el nuevo costo de materias primas?

13. Un pequeño fabricante hace tres tipos básicos de componente para otras compañías. Cada componente se procesa en tres máquinas. Los tiempos de proceso son los siguientes: las capacidades totales (en horas) son 1,600 para la máquina 1, 1,400 para la máquina 2 y 1,500 para la máquina tres.

	TIEMPO DE PROCESO (H)		
Componente	**Máquina 1**	**Máquina 2**	**Máquina 3**
A	0.25	0.10	0.05
B	0.20	0.15	0.10
C	0.10	0.05	0.15

Cada componente contiene una cantidad diferente de dos materias primas básicas. La materia prima 1 cuesta $0.20 por onza, y la materia prima 2 cuesta $0.35 por onza. Ahora se dispone de 200,000 onzas de la materia prima 1 y 85,000 onzas de la materia prima dos.

	REQUERIMIENTOS (OZ)		
Componente	**Materia prima 1**	**Materia prima 2**	**Precio de venta ($/unidad)**
A	32	12	40
B	26	16	28
C	19	9	24

a) Suponga que la compañía hace al menos 1,200 unidades de la componente B, los costo de manc de obra son despreciables y que el objetivo es maximizar la ganancia. Especifique la función objetivo y las restricciones para este problema.

b) Utilice un paquete de computadora como POM para Windows para resolver el problema.

14. El siguiente es un modelo de programación lineal para analizar la mezcla de productos de Maxine's Hat Company, que produce tres estilos de sombreros.

Maximizar: $\$7x_1 + \$8x_2 + \$6x_3 = Z$

sujeta a: $2x_1 + 4x_2 + 2x_3 \leq 120$ (tiempo de máquina A)

$5x_1 + 3x_2 + 2x_3 \leq 400$ (tiempo de máquina B)

$2x_1 + 2x_2 + 4x_3 \leq 110$ (tiempo de máquina C)

$x_1 \geq 0 x_2 \geq 0$, y $x_3 \geq 0$

La salida de POM para Windows en la figura D.15 muestra la solución óptima del problema. Considere cada una de las siguientes afirmaciones independientes y diga si es falsa o verdadera. Explique su respuesta.

a) Si el costo del sombrero tres se aumenta a $11.50, sería parte de la mezcla de productos óptima. *Sugerencia:* el sombrero tres está representado por x_3 y su valor

a) Results Screen

Maximize	7	8	6			
machine A time	2	4	2	<=	120	.5
machine B time	5	3	2	<=	400	0
machine C time	2	2	4	<=	110	3
Solution->	50	5	0		390	

b) Ranging Screen

Variable	Value	Reduced Cost	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
X1	50	0	7	4.6667	8
X2	5	0	8	7	14
X3	0	7	6	-Infinity	13
Constraint	Shadow Price	Slack/Surplus	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
machine A time	.5	0	120	110	220
machine B time	0	135	400	265	Infinity
machine C time	3	0	110	60	120

▲ **FIGURA D.15**
Pantallas de solución para Maxine's Hat Company

óptimo actual es 0, lo cual significa que no debe producirse (y no es parte de la solución óptima).

b) La capacidad de la máquina B se puede reducir a 280 horas sin afectar la ganancia.

c) Si la máquina C tuviera una capacidad de 115 horas, la producción permanecería si cambio.

15. La compañía Washington Chemical produce químico y solventes para la industria del pegamento. El proceso de producción se divide en varias "fábricas enfocadas" donde cada una produce un conjunto específico de productos. Ha llegado el momento de preparar el plan de producción para una de las fábricas enfocadas. Esta fábrica en particular produce cinco productos, los cuales deben pasar por un reactor y un separador. Cada producto requiere también cierta combinación de materiales. Los datos de producción se muestran en la tabla D.2.

Washington Chemical tiene un contrato a largo plazo con un importante fabricante de pegamento que requiere una producción anual de 3,000 libras tanto del producto 3 como del 4. Se podrían elaborar más de estos productos, ya que en la actualidad la demanda excede la capacidad de producción.

a) Determine la cantidad de producción anual de cada producto que maximiza la contribución a la ganancia. Suponga que la compañía puede vender todo lo que produzca.

b) Especifique el tamaño de lote para cada producto.

16. La compañía Warwick Manufacturing produce palas para uso industrial y en el hogar. La venta de las palas es estacional y los clientes de Warwick se rehúsan a guardarlas durante los periodos de holgura. En otras palabras, los clientes quieren minimizar el inventario, insisten en envíos de acuerdo con su programación y no aceptarán órdenes atrasadas.

Warwick emplea trabajadores manuales, no calificados, que requieren solo una capacitación básica. Producir 1,000 palas cuesta $3,500 en tiempo normal y $3,700 en tiempo extra. Estas cantidades incluyen a los materiales, que dan cuenta de 85% del costo. El tiempo extra está limitado a producir 15,000 palas por trimestre. Además, se podría contratar subcontratistas a $4,200 por mil palas, pero el contrato de mano de obra de Warwick restringe este tipo de producción a 5,000 palas por trimestre.

El nivel de inventario actual es de 30,000 palas y la administración quiere terminar el año en ese nivel. El costo de mantener 1,000 palas en inventario es $280 por trimestre. El último pronóstico de demanda es el siguiente:

Trimestre	Demanda
1	70,000
2	150,000
3	320,000
4	100,000
Totales	640,000

Desarrolle un modelo de programación lineal para determinar el *mejor* plan de capacidad en tiempo normal. Suponga lo siguiente:

- La empresa tiene 30 trabajadores ahora y la administración quiere tener el mismo número en el trimestre cuatro.
- Cada trabajador puede producir 4,000 palas por trimestre.
- Contratar un trabajador cuesta $1,000 y despedirlo cuesta $600.

17. La administración de Warwick Manufacturing está dispuesta a dar descuentos en el precio a sus clientes como incentivo si compran palas antes de las estaciones. El personal de ventas y marketing de Warwick estiman que la demanda de palas, como resultado de los precios de descuento, es la siguiente:

Trimestre	Demanda	Demanda original
1	120,000	70,000
2	180,000	150,000
3	180,000	320,000
4	160,000	100,000
Totales	640,000	640,000

Calcule el plan de producción óptimo (incluyendo el plan de la fuerza de trabajo) con el nuevo programa de demanda. Compárelo con el plan de producción óptimo con el programa de demanda original. Evalúe los efectos potenciales de la administración de la demanda.

TABLA D.2 | DATOS DE PRODUCCIÓN PARA WASINGTON CHEMICAL

	PRODUCTO					
Recurso	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**Recursos disponibles totales**
Reactor (h/lb)	0.05	0.10	0.80	0.57	0.15	7,500 h*
Separador (h/lb)	0.20	0.02	0.20	0.09	0.30	7,500 h*
Materia prima 1 (lb)	0.20	0.50	0.10	0.40	0.18	10,000 lb
Materia prima 2 (lb)	—	0.70	—	0.50	—	6,000 lb
Materia prima 3 (lb)	0.10	0.20	0.40	—	—	7,000 lb
Contribución a la ganancia ($/lb)	4.00	7.00	3.50	4.00	5.70	

*El tiempo total disponible se ha ajustado para tomar en cuenta las preparaciones. Los cinco productos tienen una secuencia prescrita debido al costo de los cambios entre productos. La compañía tiene un ciclo de 35 días (o 10 cambios por año por producto). En consecuencia, el tiempo para estos cambios se dedujo del tiempo total disponible para estas máquinas.

18. La compañía Bull Grin produce un suplemento alimenticio para comida para animales producida por algunas otras compañías. Producir 1,000 libras de suplemento cuesta $810 en tiempo normal y $900 en tiempo extra. Estas cantidades incluyen a los materiales que representan 80% del costo. La planta puede producir 400,000 libras de suplemento por trimestre en tiempo normal, pero el tiempo extra está limitado a la producción de 40,000 libras por trimestre. El nivel de inventario actual es de 40,000 libras y el administrador quiere terminar el año con ese nivel. Mantener 1,000 libras de suplemento en inventario cuesta $110 por trimestre. El último pronóstico de demanda anual es:

Trimestre	Demanda (en libras)
1	100,000
2	410,000
3	770,000
4	440,000

a) Formule este problema de planeación de la producción como un programa lineal después de definir todas las variables de decisión.

b) Resuelva su formulación usando un paquete de computadora como POM para Widows.

c) Suponga que los subcontratistas pueden contratar por $1,100 por cada mil libras para producir todo el suplemento que Bull Grin requiera. ¿Cambia esto la solución de costo mínimo encontrada en el inciso *b*)?

d) Si Bull Grin se da cuenta de que el inventario en realidad tiene 0 libras, ¿son adecuados los recursos supuestos en el inciso *c*) para satisfacer toda la demanda y tener 40,000 libras de inventario final? Si es así, ¿cuánto aumentará el costo del plan de producción para Bull Grin?

19. Supertronics, Inc. desea saber cómo altera la mezcla de productos a la rentabilidad la empresa. Actualmente, la mezcla de productos se determina asignando prioridades según la contribución marginal (definida como la diferencia entre el precio y el costo del material) unitaria más alta. Los detalles de la línea de producción de Supertronics, incluido el tiempo de los procesos en cada estación de trabajo son:

	PRODUCTO			
	Alfa	**Beta**	**Delta**	**Gama**
Precio	$350.00	$320.00	$400.00	$500.00
Costo de material	$50.00	$40.00	$125.00	$150.00
Demanda semanal en unidades	100	60	50	80
Tiempo de proceso en la máquina 1 en minutos	20	0	40	10
Tiempo de proceso en la máquina 2 en minutos	25	20	0	50
Tiempo de proceso en la máquina 3 en minutos	0	20	60	30

a) Suponga que Supertronics tiene 5,500 minutos de capacidad disponible en cada estación de trabajo cada semana. Desarrolle un programa lineal para definir la mezcla de producción que maximiza la contribución marginal.

b) Resuelva su formulación con un paquete de computadora como POM para Windows.

c) Dada su solución para el inciso *b*), ¿qué máquina es el cuello de botella?

d) ¿Cuál sería el cambio en su formulación y solución de inciso *b*) si 50 unidades de cada producto ya estuvieran comprometidas con los clientes y, por ende, deben producirse?

20. JPMorgan Chase tiene un problema de programación. Los operarios trabajan turnos de 8 horas y pueden comenzar a trabajar a las 12 a.m., 4 a.m., 8 a.m., 12 p.m., 4 p.m. o a las 8 p.m. Los operarios son necesarios para satisfacer el siguiente patrón de demanda. Formule un modelo de programación lineal para cubrir los requerimientos de demanda con el mínimo número de operarios.

Periodo	Operarios necesarios
12 a.m. a 4 a.m.	4
4 a.m. a 8 a.m.	6
8 a.m. a 12 p.m.	90
12 p.m. a 4 p.m.	85
4 p.m. a 8 p.m.	55
8 p.m. a 12 a.m.	20

21. Regrese al problema 18 de la compañía Bull Grin. Algunos parámetros de costo y de demanda han cambiado. Producir 1,000 libras de suplemento ahora cuesta $830 en tiempo normal y $910 en tiempo extra. No se incurre en costos adicionales por tiempo normal, tiempo extra o subcontratación no utilizados. El tiempo extra está limitado a la producción de 20,000 libras por trimestre. Además, los subcontratistas cobran $1,000 por mil libras producidas, pero solo pueden producir 30,000 libras por trimestre.

El nivel actual de inventario es 40,000 libras y la administración quiere terminar el año con este nivel. Mantener 1,000 libras de suplemento en inventario un trimestre cuesta $100. El último pronóstico de la demanda se muestra en la tabla D.3.

Utilice el método de transporte de planeación de la producción en POM para Windows para encontrar el plan de producción óptimo y calcule su costo o use el enfoque de hoja de cálculo para encontrar un buen plan de producción y calcule su costo.

22. Cut Rite Company es un importante fabricante de podadoras. El costo de Cut Rite de contratar trabajadores semicalificados para su planta de ensamble es $3,000 y el costo por despedir a uno es de $2,000. La planta tiene una producción promedio de 36,000 podadoras por trimestre con su fuerza de trabajo actual de 720 empleados. La capacidad en tiempo normal es directamente proporcional al número de empleados. El tiempo extra está limitado a un máximo de 3,000 podadoras por trimestre y la subcontratación tiene un límite de 1,000 podadoras

TABLA D.3 | PRONÓSTICOS Y CAPACIDADES

	PERIODO				
	Trimestre 1	**Trimestre 2**	**Trimestre 3**	**Trimestre 4**	**Total**
Demanda (libras)	130,000	400,000	800,000	470,000	1,800,000
Capacidades (libras)					
Tiempo normal	390,000	400,000	460,000	380,000	1,630,000
Tiempo extra	20,000	20,000	20,000	20,000	80,000
Subcontratación	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000

por trimestre. Los costos de producir una podadora son $2,430 en tiempo normal (incluyendo materiales), $2,700 en tiempo extra y $3,300 por subcontratación. La capacidad no usada en tiempo normal cuesta $270 por podadora. No se incurre en costos adicionales por tiempo extra o subcontratación no utilizados. El nivel actual de inventario es 4,000 podadoras y la administración quiere ese nivel al final del año. Los clientes no toleran las órdenes atrasadas y mantener una podadora en inventario cuesta $300 por trimestre. La demanda de podadoras este año que inicia es la siguiente:

Trimestre	1	2	3	4
Demanda	10,000	41,000	77,000	44,000

Se proponen dos planes para la fuerza de trabajo y la administración no está segura de cuál utilizar. La siguiente tabla muestra el número de empleados por trimestre con cada plan:

Trimestre	1	2	3	4
Plan 1	720	780	920	720
Plan 2	860	860	860	860

a) ¿Cuál plan recomendaría a la administración? Explique, apoyando su recomendación con un análisis que utilice el método de transporte para planeación de la producción.

b) Si la administración usa el diseño de precios creativo para hacer que los clientes compren podadoras en periodos no tradicionales, se tendría el siguiente esquema de demanda:

Trimestre	1	2	3	4
Demanda	20,000	54,000	54,000	44,000

¿Qué plan para la fuerza de trabajo recomendaría ahora?

23. La compañía Holloway Calendar produce una variedad de calendarios impresos para uso comercial y privado. La demanda de calendarios es altamente estacional, con su pico en el tercer trimestre. El inventario actual es 165,000 calendarios y debe quedar un inventario final de 200,000 caldarios.

Ann Ritter, gerente de manufactura, quiere determinar el mejor plan de producción para los requerimientos de demanda y el plan de capacidad en la siguiente tabla. (En este caso, la demanda y las capacidades se expresan en miles de calendarios y no en los equivalentes de empleado-periodo). Ritter sabe que el costo de tiempo normal es $0.50 por unidad, en tiempo extra es $0.75 por unidad y con subcontratación es $0.90 por unidad; el costo de mantener inventario es 0.10 por calendario por trimestre. No se paga la capacidad de tiempo normal no utilizada.

	TRIMESTRE				
	1	**2**	**3**	**4**	**Total**
Demanda	250	515	1,200	325	2,290
Capacidades					
Tiempo normal	300	300	600	300	1,500
Tiempo extra	75	75	150	75	375
Subcontratación	150	150	150	150	600

a) Recomiende un plan de producción a Ritter, usando el módulo del método de transporte (Planeación de la producción) de POM para Windows. (No permita órdenes atrasadas o faltantes).

b) Interprete y explique su recomendación.

c) Calcule el costo total del plan de producción que recomendó.

CASO R.U. Reddie para localización

La R.U. Reddie Corporation, con sede en Chicago, fabrica ropa para animales de peluche de las caricaturas, especialmente diseñados como Snoopy y el Correcaminos. Entre los productos populares están un traje de boda para Snoopy y un chaleco antibalas para el Coyote del Correcaminos. Este último es capaz de detener un cohete Acme a corta distancia... algunas veces.

Para incrementar las ventas, la compañía cuenta con la ayuda de niños consentidos que se rehúsan a dejar la juguetería sin que sus padres les compren los atuendos para sus peluches. Rhonda Ulysses Reddie, dueña de la compañía, está preocupada por las proyecciones del mercado que indican una demanda del producto sustancialmente mayor que la capacidad de planta actual. La proyección "más probable" indica que la compañía se quedará corta en 400,000 unidades el próximo año, y en adelante 700,000 unidades cada año. Como están las cosas, Rhonda está considerando abrir una nueva planta para producir unidades adicionales.

Antecedentes

La R.U. Reddie Corporation tiene ahora tres plantas localizadas en Boston, Cleveland y Chicago. La primera planta de la compañía fue la de Chicago, pero conforme las ventas crecieron en el medio oeste y noreste, pronto se construyeron las de Boston y Cleveland. Cuando la demanda de atuendos para los animales de peluche llegó del oeste, se abrieron centros de distribución en St. Louis y Denver. Las capacidades de las tres plantas se expandieron para adaptarse a la demanda. Cada planta tiene su propio almacén para satisfacer la demanda de su área. La capacidad adicional se usa para enviar productos a St. Louis o Denver.

Los nuevos pronósticos a largo plazo proporcionados por el departamento de ventas contienen buenas y malas noticias. Los ingresos adicionales sin duda ayudarán a la rentabilidad de Rhonda, pero la compañía tendrá que comprar otra planta para realizar esas ganancias adicionales. No dispone de espacio en las plantas existentes y los beneficios de la nueva tecnología para la manufactura de los atuendos es tentadora. Estos factores motivan la búsqueda de la mejora localización para una nueva planta. Rhonda identifica Denver y St. Louis como posibles localizaciones.

Preocupaciones de Rhonda

Una planta más es una gran decisión. Rhonda comienza a pensar en la exactitud de los datos que pudo obtener. Tiene preocupaciones respecto al mercado, financieras y de operaciones.

Mercado

Las demandas proyectadas para los años 2 a 10 muestran un incremento desde 700,000 unidades hasta un total de 2,000,000 de unidades por cada año. Rhonda tiene dos dudas en esto. Primero, ¿qué pasa si las proyecciones para cada ciudad tienen un error de más o menos 10% por igual? Esto es, las demandas anuales totales pueden bajar hasta 1,800,000 o subir tanto como 2,200,000, y cada ciudad podría tener los mismos resultados que las otras. Segundo, el gerente de marketing expresó su preocupación sobre posibles cambios del mercado del medio oeste y noreste hacia el oeste. Con este escenario, la demanda adicional alcanzaría 50,000 unidades en St. Louis y 150,000 en Denver, y las otras ciudades se quedarían con las proyecciones de demanda "más probable".

Finanzas

Rhonda se da cuenta de que el valor presente neto (VPN) de cada alternativa es un dato importante para la decisión final. Sin embargo, la exactitud de las estimaciones de los diferentes costos es crucial para determinar buenas estimaciones de los flujos de efectivo. Se pregunta si su decisión cambiaría si el COGS (costos variables de producción más transporte) de cada opción estuviera mal por ±10%. Esto es, ¿qué pasa si los costos variables de producción y de transporte de St. Louis son 10% más altos que los estimados, mientras que los costos variables de producción y de transporte para Denver son 10% menores que los estimados o viceversa? Más aún, ¿qué pasa si la estimación de los costos fijos tiene un error de ±10%? Por ejemplo, suponga que St. Louis es 10% más alto y Denver es 10% más bajo, o al revés. ¿Cambiaría la recomendación en cualquiera de estas situaciones?

Operaciones

La localización final de la nueva planta determinará las asignaciones de distribución y el nivel de utilización de cada planta en la siguiente red. Disminuir la producción en cualquiera de las plantas cambiará las asignaciones de distribución de todas. Como las proyecciones de demanda "más probable" con una nueva planta significa capacidad en exceso en el sistema, la capacidad de la planta de Cleveland podría disminuir del año dos en adelante. Suponga que Cleveland disminuye su producción por 50(000) unidades al año del año dos en adelante. ¿Afectará esta acción la elección entre Denver y St. Louis? ¿Cuál es el impacto sobre las asignaciones de distribución de la planta? También deben considerarse algunos aspectos no cuantificables. Primero, la disponibilidad de mano de obra adecuada es mucho mejor en Denver que en St. Loius por el reciente cierre de una fábrica de Beanie Baby. El mercado de mano de obra es más estrecho en St. Louis y se vaticina poco suministro en el futuro previsible. Segundo, el área metropolitana de Denver acaba de instituir un reglamento ambiental estricto. La nueva planta de Rhonda se adhiere a las leyes existentes, pero el área tiene una alta conciencia ambiental y es posible que se emitan más. Es costoso modificar una planta una vez que inicia sus operaciones. Por último, Denver tiene varios proveedores buenos con la capacidad de ayudar en el diseño de la producción (nuevos atuendos). St. Louis también tiene proveedores, pero no pueden ayudar con el desarrollo del producto. La proximidad a proveedores con capacidad de desarrollo de productos es un "plus" para esta industria.

Datos

Se reunieron los siguientes datos para Rhonda:

1. El costo por unidad basado en las tasas tonelada-milla promedio para las mensajerías más eficientes es $0.0005 por milla. El ingreso promedio por atuendo es $8.00.
2. La compañía actualmente tiene las siguientes restricciones de capacidad (en miles):

	Capacidad
Boston	400
Cleveland	400
Chicago	500

3. Los datos concernientes a las diferentes localizaciones se encuentran en la tabla D.4
4. Información de la nueva planta:

Alternativa	Construcción y equipo[2]	Costos fijos anuales[1,3]	Costos variables de producción/unidad	Terreno[1]
Denver	$12,100	$550	$3.15	$1,200
St. Luis	10,800	750	3.05	800

[1] Las cifras están en miles.
[2] Valor neto en libros de planta y equipo con vida depreciable restante de 10 años.
[3] Los costos fijos anuales no incluyen depreciación de planta y equipo.

5. Las millas de carretera entre las ciudades son las siguientes:

	Boston	Cleveland	Chicago	St. Luis	Denver
Boston	—	650	1,000	1,200	2,000
Cleveland		—	350	600	1,400
Chicago			—	300	1,000
St. Luis				—	850
Denver					—

6. Las suposiciones básicas que debe seguir son:
   - Valor terminal (en 10 años) de la nueva inversión es 50% del costo de la planta, el equipo y el terreno.
   - La tasa de impuestos es 40 por ciento.
   - Se utiliza depreciación en línea recta para todos los activos en una vida de 10 años.
   - R.U. Reddie es una compañía 100% de capital propio con todo el financiamiento de capital y un costo promedio ponderado de capital (CPPC) de 11 por ciento.
   - La capacidad de producción en la nueva planta para el primer año será 500 (000) unidades.
   - La capacidad de producción en la nueva planta en adelante será 900 (000) unidades.
   - El costo de los bienes vendidos es igual a los costos variables de producción más los costos totales de transporte.
   - Los costos de envío de una planta a su propio almacén son cero, pero se aplican los costos de producción.

TABLA D.4 | DATOS DE LOCALIZACIÓN PARA R.U. REDDIE

Ciudad	Demanda más probable el primer año[1]	Demanda más probable en años 2 a 10[1]	Costos actuales, construcción y equipo[1,2]	Costos fijos anuales[1,3]	Costos variables de producción/unidad	Terreno[1]
Boston	80	140	$9,500	$600	$3.80	$500
Cleveland	200	260	7,700	300	3.00	400
Chicago	370	430	8,600	400	3.25	600
St. Luis	440	500				
Denver	610	670				

[1] Las cifras están en miles.
[2] Valor neto en libros de planta y equipo con vida depreciable restante de 10 años.
[3] Los costos fijos anuales no incluyen depreciación de planta y equipo.

7. Los gerentes de operaciones y logística de R.U. Reddie determinaron el plan de envíos y costo de los bienes vendidos para la opción de *no* construir la nueva planta y simplemente usar las capacidades existentes en toda su extensión (solución *status quo*).

Año 1	**COGS = $4,692,000**
Boston a Boston	80
Boston a St. Luis	320
Cleveland a Chicago	80
Cleveland a Cleveland	200
Cleveland a St. Luis	120
Chicago a Chicago	290
Chicago a Denver	210
Años 2 a 10	**COGS = $4,554,000**
Boston a Boston	140
Boston a St. Luis	260
Cleveland a Cleveland	260
Cleveland a St. Luis	140
Chicago a Chicago	430
Chicago a St. Luis	70

PREGUNTAS

Se pide a su equipo que determinen si R.U. Reddie debe construir una nueva planta y, si es así, en dónde debe estar. Su informe debe consistir en seis partes:

1. Escriba un memo de su equipo a R.U. Reddie indicando su recomendación y una breve descripción de la evidencia que la apoye.
2. Modele la decisión de localización como un problema de programación lineal. La función objetivo debe ser minimizar los costos variables totales (producción más transporte). Las variables deben ser la cantidad a enviar de cada planta (incluyendo una de las plantas alternativas nuevas) a cada almacén. Debe tener 20 variables (cuatro plantas y cinco almacenes). También debe tener nueve restricciones (cuatro restricciones de capacidad de planta y cinco restricciones de demanda de los almacenes). Véase sugerencias en el anexo. Necesitará dos modelos, uno para Denver y otro para St. Louis.
3. Utilice un paquete de software de programación lineal, como POM para Windows, para resolver el plan de distribución óptimo para cada alternativa (Denver y St. Louis). En este caso, es preferible un modelo de programación lineal debido a la información que el análisis de sensibilidad proporciona.
4. Calcule el VPN de cada alternativa. Utilice los resultados de los modelos lineales para el COGS de cada alternativa. (*Sugerencia:* su análisis se simplifica si piensa en términos de flujos de efectivo incrementales). Cree una hoja de cálculo sencilla de leer para cada alternativa.
5. Realice el análisis de sensibilidad de los factores cuantitativos mencionados en el caso: errores de pronóstico (en toda la tabla y cambios de mercado), errores en la estimación de COGS y errores en las estimaciones de costos fijos. Cada factor es independiente de los otros, utilice las proyecciones "más probables" como base del caso. Resuma los resultados en una tabla.
6. Utilice el análisis de la pregunta cinco para identificar las variables cuantitativas clave que determinan la superioridad de una alternativa contra la otra. Racionalice su recomendación final a la luz de todas las consideraciones que R.U. Reddie debe tomar en cuenta.

Anexo

Presentamos algunas sugerencias para el modelo:

1. La restricción de capacidad para Boston sería como sigue:

$$1B - B + 1B - CL + 1B - CH + 1B - D + 1B - SL \leq 400$$

La variable B-CH significa Boston a Chicago en este ejemplo. Necesitará un total de cuatro restricciones de capacidad, una para cada sitio existente y una para el sitio alternativo que está evaluando. Recuerde que el nuevo sitio tendrá un límite de capacidad de 500 en el primer año y 900 en el segundo.

2. La restricción de demanda para Boston sería como sigue:

$$1B - B + 1CL - B + 1CH - B + 1D - B = 140$$

La alternativa de localización de Denver se describe en este ejemplo (D-B representa el número de unidades producidas en Denver y enviadas a Boston). Necesitará un total de cinco restricciones de demanda, una por cada almacén. Observe que las restricciones de demanda tienen signos de igual para indicar que debe recibirse exactamente esa cantidad en cada almacén.

3. Defina sus variables como "miles que se envían" y omita los tres ceros después de cada valor de demanda y capacidad. Luego recuerde multiplicar su decisión final y costos variables totales por mil después de obtener la solución de su modelo.
4. Como la capacidad y la demanda cambian del año uno al año dos, necesita correr su modelo dos veces para cada localización para obtener los datos necesarios. También tendrá que correr el modelo y las hojas de cálculo múltiples veces para la pregunta cinco de su informe.

Referencias seleccionadas

Anderson, D.R., D.J. Sweeney, T.A. Williams, J.D. Camm y K. Martin. *An Introduction to Management Science: A Quantitative Approach to Decision Making*, 13a. ed. Cincinnati: South-Western, 2011.

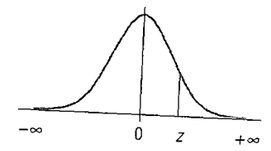
Hillier, Fredrick S. y Mark S. Hillier. *Introduction to Management Science: A Modeling and Case Studies Approach with Spreadsheets*, 4a. ed. Burr Ridge, IL: McGraw Hill, 2011.

Ragsdale, Cliff. *Spreadsheet Modeling & Decision Analysis: A Practical Introduction to Management Science*, 6a. ed. Cincinnati, OH: South-Western, 2011.

Render, Barry, Ralph M. Stair y Michael E. Hanna. *Quantitative Analysis for Management*, 11a. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2011.

Winston, Wayne L. y S. Christian Albright. *Practical Management Science*, 4a. ed. Belmont, CA: Duxbury Press, 2012.

APÉNDICE 1 DISTRIBUCIÓN NORMAL

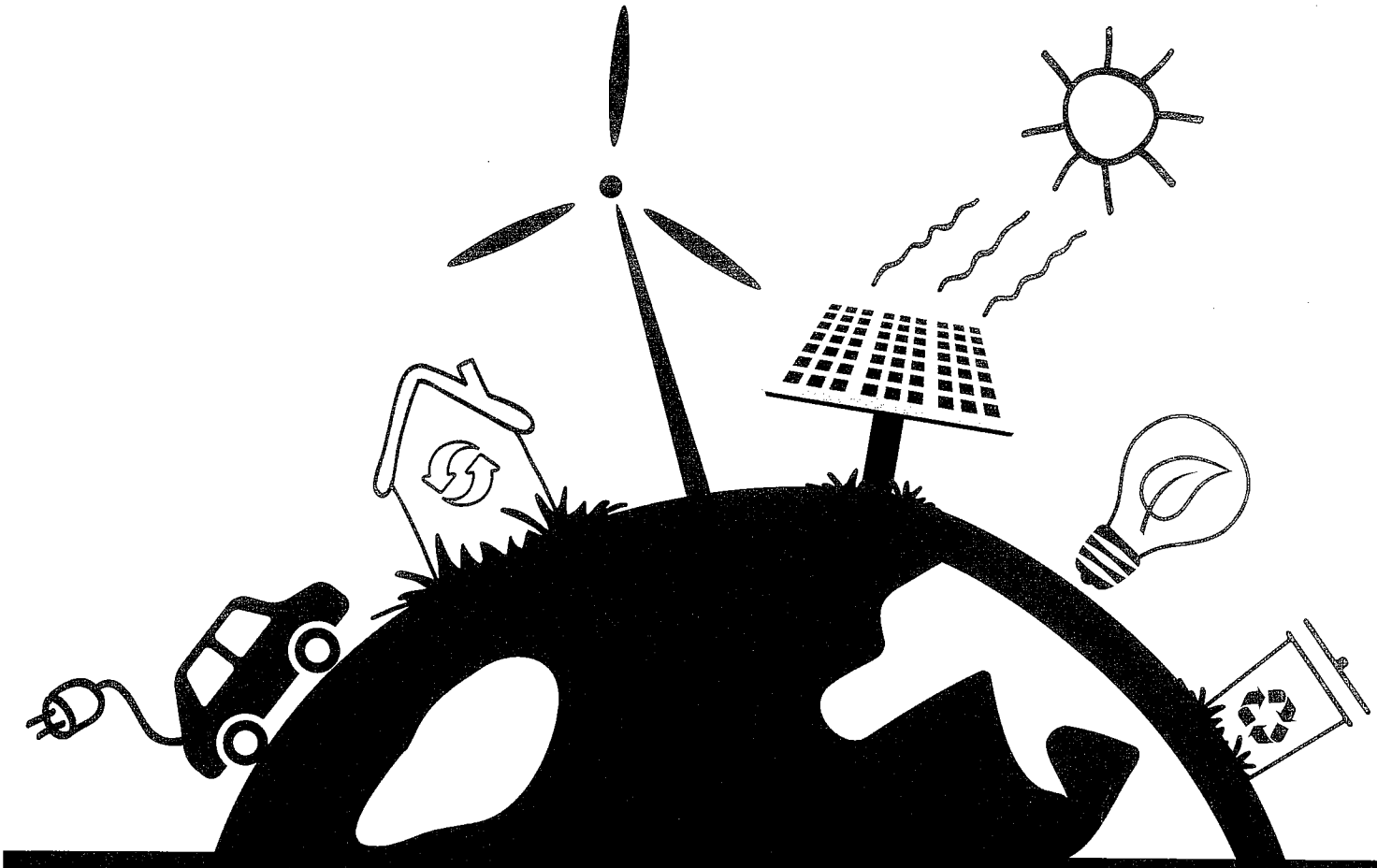


	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
.0	.5000	.5040	.5080	.5120	.5160	.5199	.5239	.5279	.5319	.5359
.1	.5398	.5438	.5478	.5517	.5557	.5596	.5636	.5675	.5714	.5753
.2	.5793	.5832	.5871	.5910	.5948	.5987	.6026	.6064	.6103	.6141
.3	.6179	.6217	.6255	.6293	.6331	.6368	.6406	.6443	.6480	.6517
.4	.6554	.6591	.6628	.6664	.6700	.6736	.6772	.6808	.6844	.6879
.5	.6915	.6950	.6985	.7019	.7054	.7088	.7123	.7157	.7190	.7224
.6	.7257	.7291	.7324	.7357	.7389	.7422	.7454	.7486	.7517	.7549
.7	.7580	.7611	.7642	.7673	.7704	.7734	.7764	.7794	.7823	.7852
.8	.7881	.7910	.7939	.7967	.7995	.8023	.8051	.8078	.8106	.8133
.9	.8159	.8186	.8212	.8238	.8264	.8289	.8315	.8340	.8365	.8389
1.0	.8413	.8438	.8461	.8485	.8508	.8531	.8554	.8577	.8599	.8621
1.1	.8643	.8665	.8686	.8708	.8729	.8749	.8770	.8790	.8810	.8830
1.2	.8849	.8869	.8888	.8907	.8925	.8944	.8962	.8980	.8997	.9015
1.3	.9032	.9049	.9066	.9082	.9099	.9115	.9131	.9147	.9162	.9177
1.4	.9192	.9207	.9222	.9236	.9251	.9265	.9279	.9292	.9306	.9319
1.5	.9332	.9345	.9357	.9370	.9382	.9394	.9406	.9418	.9429	.9441
1.6	.9452	.9463	.9474	.9484	.9495	.9505	.9515	.9525	.9535	.9545
1.7	.9554	.9564	.9573	.9582	.9591	.9599	.9608	.9616	.9625	.9633
1.8	.9641	.9649	.9656	.9664	.9671	.9678	.9686	.9693	.9699	.9706
1.9	.9713	.9719	.9726	.9732	.9738	.9744	.9750	.9756	.9761	.9767
2.0	.9772	.9778	.9783	.9788	.9793	.9798	.9803	.9808	.9812	.9817
2.1	.9821	.9826	.9830	.9834	.9838	.9842	.9846	.9850	.9854	.9857
2.2	.9861	.9864	.9868	.9871	.9875	.9878	.9881	.9884	.9887	.9890
2.3	.9893	.9896	.9898	.9901	.9904	.9906	.9909	.9911	.9913	.9916
2.4	.9918	.9920	.9922	.9925	.9927	.9929	.9931	.9932	.9934	.9936
2.5	.9938	.9940	.9941	.9943	.9945	.9946	.9948	.9949	.9951	.9952
2.6	.9953	.9955	.9956	.9957	.9959	.9960	.9961	.9962	.9963	.9964
2.7	.9965	.9966	.9967	.9968	.9969	.9970	.9971	.9972	.9973	.9974
2.8	.9974	.9975	.9976	.9977	.9977	.9978	.9979	.9979	.9980	.9981
2.9	.9981	.9982	.9982	.9983	.9984	.9984	.9985	.9985	.9986	.9986
3.0	.9987	.9987	.9987	.9988	.9988	.9989	.9989	.9989	.9990	.9990
3.1	.9990	.9991	.9991	.9991	.9992	.9992	.9992	.9992	.9993	.9993
3.2	.9993	.9993	.9994	.9994	.9994	.9994	.9994	.9995	.9995	.9995
3.3	.9995	.9995	.9995	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9997
3.4	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9998

APÉNDICE 2

TABLA DE NÚMEROS ALEATORIOS

71509	68310	48213	99928	64650	13229	36921	58732	13459	93487
21949	30920	23287	89514	58502	46185	00368	82613	02668	37444
50639	54968	11409	36148	82090	87298	41396	71111	00076	60029
47837	76716	09653	54466	87987	82362	17933	52793	17641	19502
31735	36901	92295	19293	57582	86043	69502	12601	00535	82697
04174	32342	66532	07875	54445	08795	63563	42295	74646	73120
96980	68728	21154	56181	71843	66134	52396	89723	96435	17871
21823	04027	76402	04655	87276	32593	17097	06913	05136	05115
25922	07122	31485	52166	07645	85122	20945	06369	70254	22806
32530	98882	19105	01769	20276	59401	60426	03316	41438	22012
00159	08461	51810	14650	45119	97920	08063	70819	01832	53295
66574	21384	75357	55888	83429	96916	73977	87883	13249	28870
00995	28829	15048	49573	65277	61493	44031	88719	73057	66010
55114	79226	27929	23392	06432	50200	39054	15528	53483	33972
10614	25190	52647	62580	51183	31338	60008	66595	64357	14985
31359	77469	58126	59192	23371	25190	37841	44386	92420	42965
09736	51873	94595	61367	82091	63835	86858	10677	58209	59820
24709	23224	45788	21426	63353	29874	51058	29958	61220	61199
79957	67598	74102	49824	39305	15069	56327	26905	34453	53964
66616	22137	72805	64420	58711	68435	60301	28620	91919	96080
01413	27281	19397	36231	05010	42003	99865	20924	76151	54089
88238	80731	20777	45725	41480	48277	45704	96457	13918	52375
57457	87883	64273	26236	61095	01309	48632	00431	63730	18917
21614	06412	71007	20255	39890	75336	89451	88091	61011	38072
26466	03735	39891	26361	86816	48193	33492	70484	77322	01016
97314	03944	04509	46143	88908	55261	73433	62538	63187	57352
91207	33555	75942	41668	64650	38741	86189	38197	99112	59694
46791	78974	01999	78891	16177	95746	78076	75001	51309	18791
34161	32258	05345	79267	75607	29916	37005	09213	10991	50451
02376	40372	45077	73705	56076	01853	83512	81567	55951	27156
33994	56809	58377	45976	01581	78389	18268	90057	93382	28494
92588	92024	15048	87841	38008	80689	73098	39201	10907	88092
73767	61534	66197	47147	22994	38197	60844	86962	27595	49907
51517	39870	94094	77092	94595	37904	27553	02229	44993	10468
33910	05156	60844	89012	21154	68937	96477	05867	95809	72827
09444	93069	61764	99301	55826	78849	26131	28201	91417	98172
96896	43769	72890	78682	78243	24061	55449	53587	77574	51580
97523	54633	99656	08503	52563	12099	52479	74374	79581	57143
42568	30794	32613	21802	73809	60237	70087	36650	54487	43718
45453	33136	90246	61953	17724	42421	87611	95369	42108	95369
52814	26445	73516	24897	90622	35018	70087	60112	09025	05324
87318	33345	14546	15445	81588	75461	12246	47858	08983	18205
08063	83575	26294	93027	09988	04487	88364	31087	22200	91019
53400	82078	52103	25650	75315	18916	06809	88217	12245	33053
90789	60614	20862	34475	11744	24437	55198	55219	74730	59820
73684	25859	86858	48946	30941	79017	53776	72534	83638	44680
82007	12183	89326	53713	77782	50368	01748	39033	47042	65758
80208	30920	97774	41417	79038	60531	32990	57770	53441	58732
62434	96122	63019	58439	89702	38657	60049	88761	22785	66093
04718	83199	65863	58857	49886	70275	27511	99426	53985	84077



Administración de Operaciones

Procesos y cadena de suministro

Décima edición

Krajewski | Ritzman | Malhotra

ALWAYS LEARNING

PEARSON